

УДК 655.3

В. З. Маик, кандидат технических наук, доцент, проректор (УАП, г. Львов, Украина);**А. В. Манько**, кандидат технических наук, доцент (УАП, г. Львов, Украина);**Г. М. Иванчишин**, кандидат технических наук (УАП, г. Львов, Украина);**М. И. Кулак**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой (БГТУ)**ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОС
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ШТАМПОВ ДЛЯ ТИСНЕНИЯ**

В статье представлены результаты экспериментального и теоретического исследования влияния нанесения защитного покрытия на поверхность медных и латунных штампов на их износ. Приведены данные экспериментов по истиранию штампов и их износу в процессе тиснения. Построена математическая модель, описывающая процесс износа.

In article results of experimental and theoretical research of agency of drawing of sheeting on a surface of copper and brass press tools on their deterioration are presented. Data of experiments on attrition of press tools and their deterioration in the course of a stamping is cited. The mathematical model presenting process of deterioration is built.

Введение. Механизм износа, формирующийся в результате взаимодействия материала штампа и изнашивающей среды, для полимерных и металлических штампов существенно различается в силу различной природы этих материалов. Износостойкость полимерных штампов формируется в результате образования вторичной пленки при окислительном изнашивании.

При истирании металлических штампов имеет место абразивный износ и механическое диспергирование. Образование износоустойчивых вторичных структур при этом не происходит. Поэтому, если для изготовления штампов используются такие относительно мягкие материалы, как медь и латунь, то требуется защита их поверхности для повышения износостойкости штампов и обеспечения качества тиснения.

Износостойкость штампов для тиснения из различных материалов, в том числе металлов, исследовалась в работах [1, 2]. Целью данной статьи является экспериментальное и теоретическое исследование влияния на износ при истирании нанесения специального покрытия на штампы из меди и латуни.

Экспериментальное исследование износа.

В процессе исследований на поверхность штампов из меди и латуни наносилось путем химического осаждения из раствора покрытие в виде Ni-Co-P-пленки. Покрытие наносилось при температуре 80–90°C в течение 150 мин.

Износостойкость штампов исследовалась методом истирания на приборе ИМП-1. Подробное описание прибора и методики проведения исследования приведено в статье [3].

Износостойкость штампов без покрытия и с покрытием оценивали по таким показателям как: удельный износ по массе W_m , удельный износ по объему W_v , скорости износа v_w и интенсивность истирания I_W . Результаты измерений и теоретических расчетов показателей удельного износа по массе и объему приведены на рис. 1 и 2.

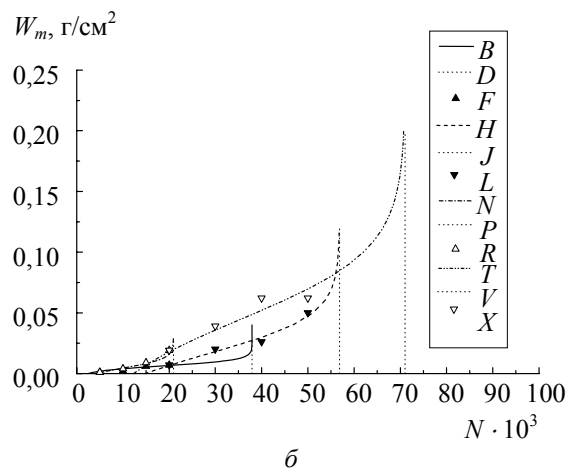
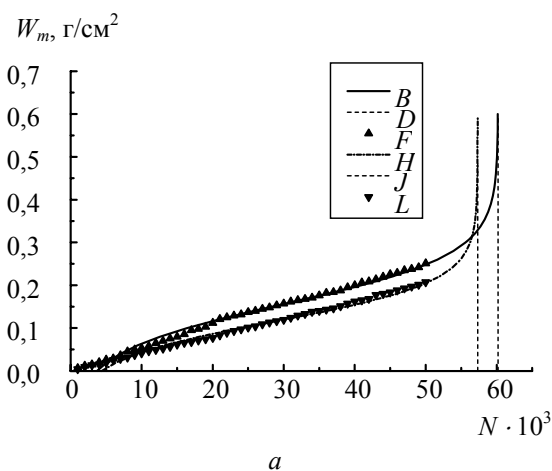


Рис. 1. Удельный износ образцов по массе:
 а – обозначения: 1) Cu_0 : B – теория; D – асимптота; F – эксперимент; 2) Lt_0 : H – теория; J – асимптота; L – эксперимент;
 б – обозначения: 1) Cu_p : фаза 1: B – теория; D – асимптота; F – эксперимент; фаза 2: H – теория; J – асимптота; L – эксперимент;
 2) Lt_p : фаза 1: N – теория; P – асимптота; R – эксперимент; фаза 2: T – теория; V – асимптота; X – эксперимент

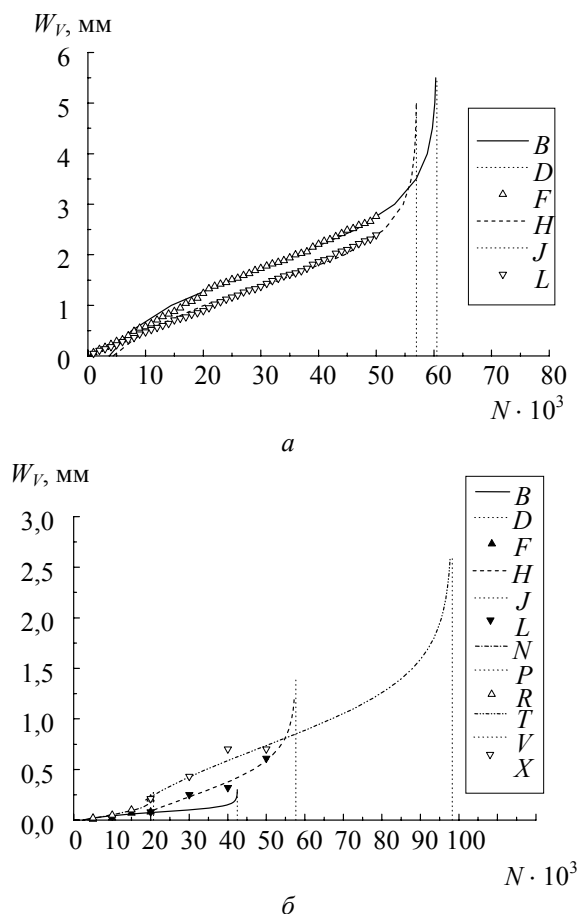


Рис. 2. Удельный износ образцов по объему:
 а – обозначения: 1) Cu_0 : B – теория; D – асимптота; F – эксперимент; 2) Lt_0 : H – теория; J – асимптота; L – эксперимент;
 б – обозначения: 1) Cu_p : фаза 1: B – теория; D – асимптота; F – эксперимент; фаза 2: H – теория; J – асимптота; L – эксперимент; 2) Lt_p : фаза 1: N – теория; P – асимптота; R – эксперимент; фаза 2: T – теория; V – асимптота; X – эксперимент

С целью сокращения записей для штампов из меди без покрытия используется обозначение – Cu_0 , с покрытием – Cu_p . Для штампов из латуни – соответственно Lt_0 и Lt_p .

Как видно на рис. 1, а, медный и латунный штампы имеют сходный характер удельного износа по объему. Медный штамп без покрытия за определенное количество циклов трения изнашивается больше. Об этом свидетельствуют и данные табл. 1. Параметр $1/b_0$ характеризует кинетику износа. Для латуни значение b_0 в 1,3 раза больше, чем у меди. Более того, незащищенные штампы из меди и латуни по износу уступают штампам из полимерного материала на основе роливсанов [3], у которых значение b_0 в 2,0 раза больше, чем у меди и в 1,5 раза больше, чем у латуни.

После нанесения защитного покрытия процесс износа исследуемых штампов, как видно на рис. 1, б, происходит в 2 фазы.

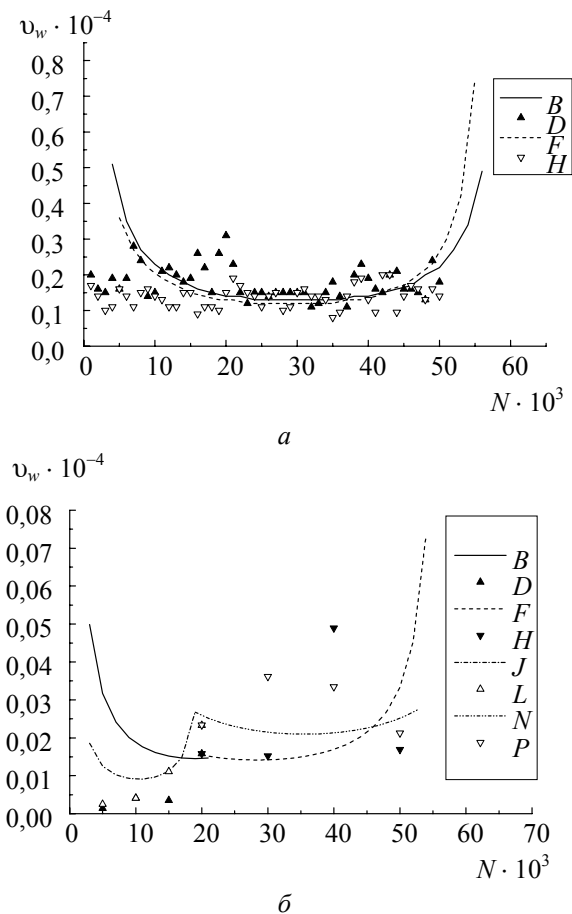


Рис. 3. Скорость износа образцов:
 а – обозначения: 1) Cu_0 : B – теория; D – эксперимент; 2) Lt_0 : F – теория; H – эксперимент;
 б – обозначения: 1) Cu_p : фаза 1: B – теория; D – эксперимент; фаза 2: F – теория; H – эксперимент; 2) Lt_p : фаза 1: J – теория; L – эксперимент; фаза 2: N – теория; P – эксперимент

Первая фаза для медного штампа соответствует глубине износа 0,08 мм, для латунного – 0,21 мм.

Вторая фаза износа начинается после 20 тыс. циклов трения. Во второй фазе у медного штампа износ объема материала происходит на предельную глубину 1,1 мм за 57,0 тыс. циклов трения, а у латунного – 2,8 мм за 98,0 тыс. циклов трения. Соответственно и потеря массы у латунного штампа больше. Для сравнения можно отметить, что износ полимерного материала составил 1,5 мм за 63,5 тыс. циклов трения [3].

Таким образом, медный штамп после износа защитной пленки начинает интенсивно истираться и за меньшее количество циклов трения, по отношению к латунному штампу, достигает предельного износа.

Как видно на рис. 2, а, в плане удельного износа по объему латунь является более предпочтительным материалом.

Вместе с тем, увеличенные значения износа в конце второй стадии истирания могут привести к снижению качества тиснения [4].

Таблица 1

Значения параметров функции износа для образцов материала

Вид и материал износа	Фаза износа	Значения параметров			Значения критерия Фишера	
		A , циклов	b_0	N_0	расчетные, F_p	табличные, F_T
$W_m, Cu_0, \text{г/см}^2$		$6,019 \cdot 10^4$	$2,891 \cdot 10^{-4}$	3 700	1,054	1,600
$W_m, Lt_0, \text{г/см}^2$		$5,730 \cdot 10^4$	$3,775 \cdot 10^{-4}$	4 350	1,055	1,600
$W_m, Cu_p, \text{г/см}^2$	Первая	$3,794 \cdot 10^4$	$11,000 \cdot 10^{-3}$	2 400	1,812	9,280
	Вторая	$5,686 \cdot 10^4$	$1,137 \cdot 10^{-3}$	14 700	1,012	9,280
$W_m, Lt_p, \text{г/см}^2$	Первая	$2,096 \cdot 10^4$	$13,000 \cdot 10^{-3}$	4 400	1,079	9,280
	Вторая	$7,104 \cdot 10^4$	$0,461 \cdot 10^{-3}$	14 000	1,086	9,280
$W_V, Cu_0, \text{мм}$		$6,051 \cdot 10^4$	$2,599 \cdot 10^{-5}$	3 700	1,052	1,600
$W_V, Lt_0, \text{мм}$		$5,701 \cdot 10^4$	$3,309 \cdot 10^{-5}$	4 350	1,050	1,600
$W_V, Cu_p, \text{мм}$	Первая	$4,250 \cdot 10^4$	$8,602 \cdot 10^{-4}$	2 400	2,227	9,280
	Вторая	$5,766 \cdot 10^4$	$8,723 \cdot 10^{-5}$	14 700	1,003	9,280
$W_V, Lt_p, \text{мм}$	Первая	$2,075 \cdot 10^4$	$12,840 \cdot 10^{-4}$	3 700	1,038	9,280
	Вторая	$9,828 \cdot 10^4$	$2,812 \cdot 10^{-5}$	11 700	1,008	9,280

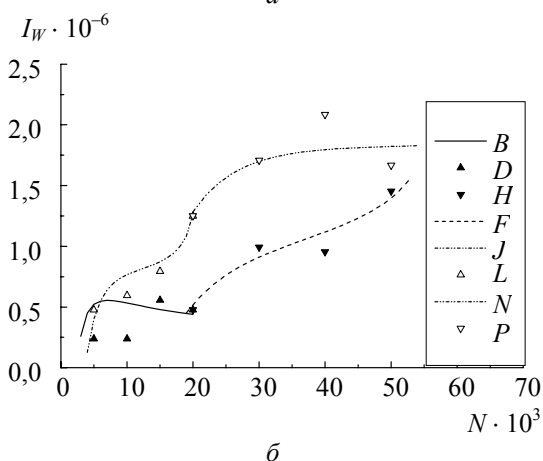
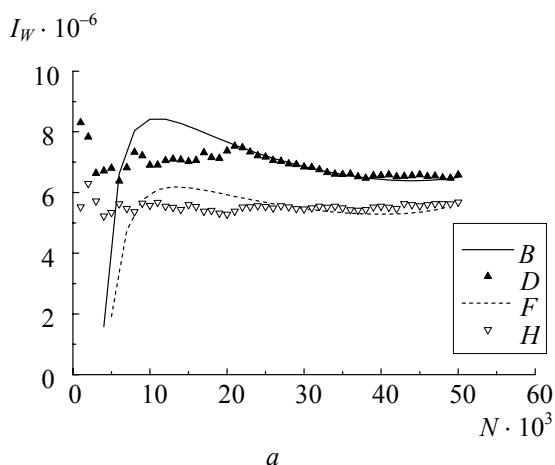


Рис. 4. Интенсивность износа образцов:
 а – обозначения: 1) Cu_0 : B – теория; D – эксперимент;
 2) Lt_0 : F – теория; H – эксперимент;
 б – обозначения: 1) Cu_p : фаза 1: B – теория;
 D – эксперимент; фаза 2: F – теория;
 H – эксперимент; 2) Lt_p : фаза 1: J – теория;
 L – эксперимент; фаза 2: N – теория; P – эксперимент

Моделирование износа штампов. Подробно теоретическое описание кинетики износа

материалов рассмотрено в работе [3]. В данной статье приведем сводку основных формул.

Зависимость износа W от количества циклов истирания N описывается функцией

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

где A, b_0, N_0 – параметры, значения которых находятся с помощью метода наименьших квадратов по экспериментальным данным. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Выражение для скорости износа v_w имеет следующий вид:

$$v_w(N) = \frac{N_0 S}{Ab_0 N(A - N)} [(A - N) - (A - N_0)N], \quad (2)$$

где S – площадь износа.

При определении скорости износа по экспериментальным данным, после проведения i -го измерения потери массы, использовалась разностная формула для первой производной второго порядка точности по шагу

$$v_w(N_i) = \frac{\Delta m_{i+1} - \Delta m_{i-1}}{N_{i+1} - N_{i-1}}. \quad (3)$$

Интенсивность износа I_w определяли по следующей формуле:

$$I_w = W_V / kl_p N, \quad (4)$$

где k – поправочный коэффициент, учитывающий износ стержня прибора ИМП-1, $k = 0,98$; l_p – путь трения при выполнении одного цикла.

Как видно на рис. 3, а, медные и латунные штампы без обработки не имеют существенных различий в скорости износа на первой и второй стадиях истирания. На третьей стадии скорость износа латунного штампа становится больше, чем у медного штампа.

Скорость износа, как производная от (1), существенно зависит от стадии износа. Однако поскольку после нанесения покрытия износ распадается на две фазы, то, как видно на рис. 3, б, на каждой фазе износа общая закономерность сохраняется, но в целом картина становится более сложной. На первой фазе медный штамп имел большую скорость износа. По мере перехода ко второй стадии скорость износа стала больше у латунного штампа. После 50 тыс. циклов трения у медного штампа наступила третья стадии (усиленный износ) и его скорость износа опять стала больше.

Как видно на рис. 4, а, медный штамп без покрытия характеризуется большей интенсивностью истирания. Рис. 4, б свидетельствует о том, что значения интенсивности также зависят от фазы износа. При этом 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. После нанесения покрытия интенсивность износа у медного штампа в целом стала меньше, чем у латунного штампа, поскольку за одинаковое количество циклов он изнашивался на меньшую глубину.

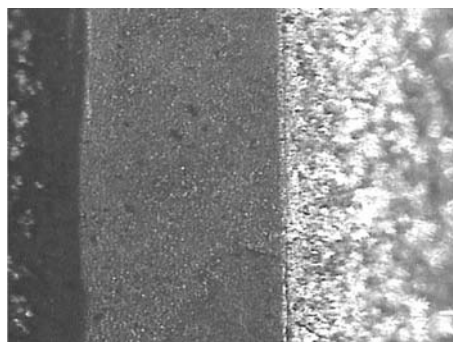
Допустимый износ может быть определен путем задания предельного количества циклов трения в виде доли k_c от асимптоты A . Например, если рассматривать удельный износ по объему и принять $k_c = 0,97$, то получим значение предельного количества циклов трения N_c равное: $Cu_0 - 58\ 694$; $Lt_0 - 55\ 300$; $Cu_p - 55\ 930$; $Lt_p - 95\ 331$. При этом допустимый удельный износ материала штампов по объему $W_V(N_c)$ в соответствии с (1) составит: $Cu_0 - 3,95$ мм; $Lt_0 - 3,16$ мм; $Cu_p - 0,90$ мм; $Lt_p - 1,95$ мм. Поскольку в процессе работы штамп должен не только выдерживать требуемое количество рабочих циклов, но и обеспечивать при этом качество тиснения, то латунный штамп с покрытием в этом плане выглядит предпочтительнее.

Стойкость штампов с покрытием проверялась в условиях проведения технологических операций тиснения. На рис. 5–8 приведены микрофотографии образцов штампов с покрытием из меди и латуни в исходном состоянии и после 50 тыс. циклов тиснения. Исследовался износ штриховых и растровых элементов штампов.

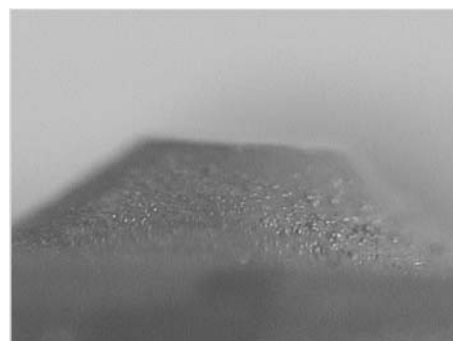
Как видно на рис. 5 и 6 у штриховых элементов из меди изнашивание происходит путем изменения структуры поверхности. Она становится более пористой. У растровых элементов изменяется не только поверхность точки, но и ее высота за счет сколов на краях.

Микрофотографии на рис. 7 и 8 подтверждают большую стойкость штриховых и рас-

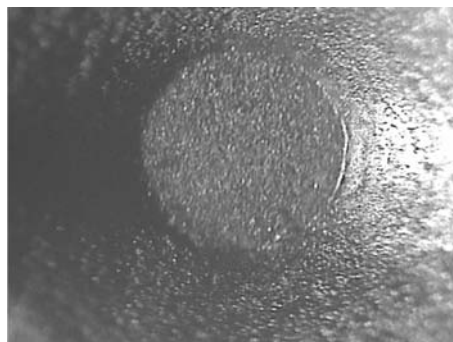
тровых элементов из латуни. При их изнашивании микроструктуры поверхности становится более развитой, но высота не меняется, сколы на краях менее выражены.



а



б



в



г

Рис. 5. Вид печатающих элементов Cu_p до тиснения: а – штриховой, вид сверху; б – штриховой, вид сбоку; в – растровый, вид сверху; г – растровый, вид сбоку

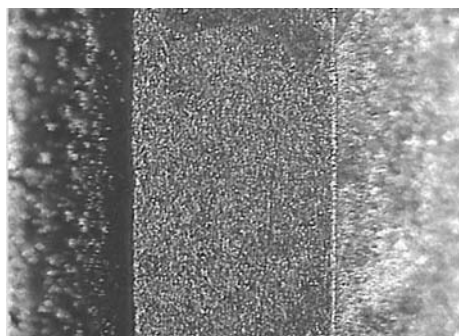
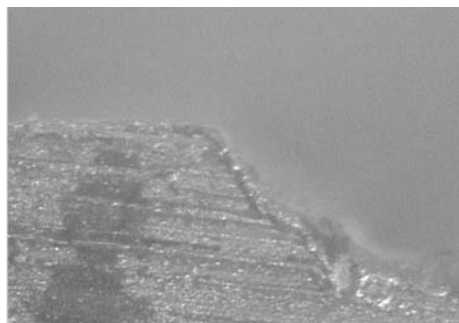
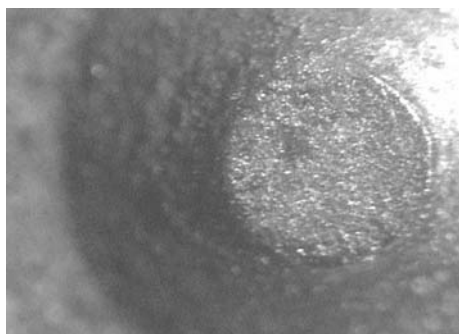
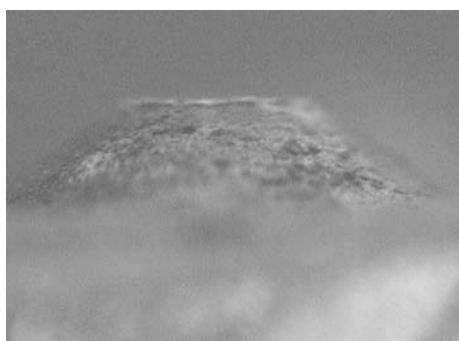
*a**б**в**г*

Рис. 6. Вид печатающих элементов Cu_p после 50 тыс. циклов тиснения:
a – штриховой, вид сверху; *б* – штриховой, вид сбоку; *в* – растровый, вид сверху;
г – растровый, вид сбоку

В табл. 2 приведены характеристики растровых элементов штампов без покрытия и с покрытием после 50 тыс. оттисков. Данные

таблицы показывают, что микротвердость поверхности латунных штампов без покрытия даже после 50 тыс. оттисков в 4 раза больше.

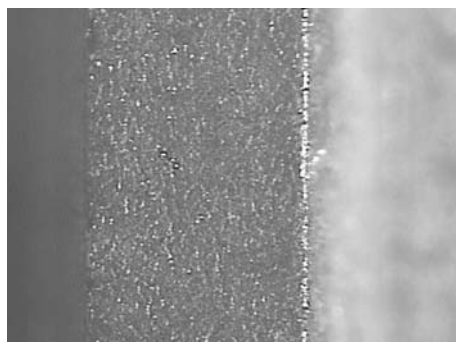
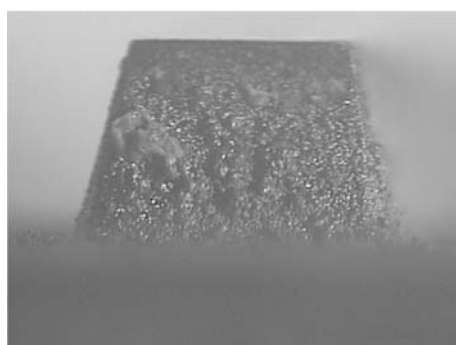
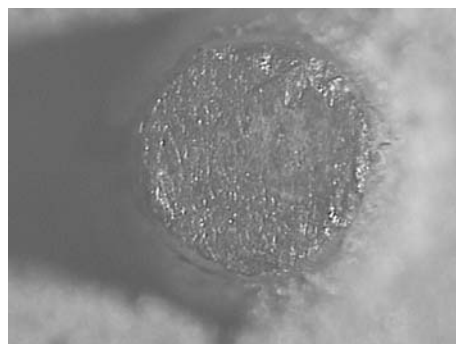
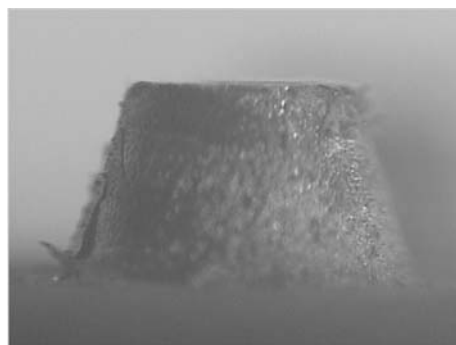
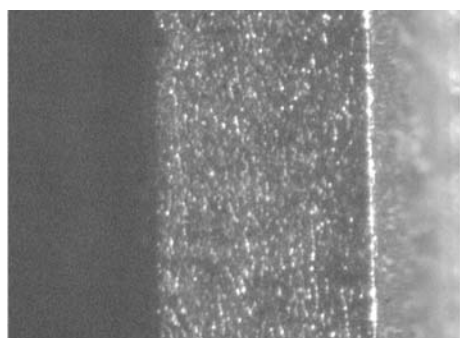
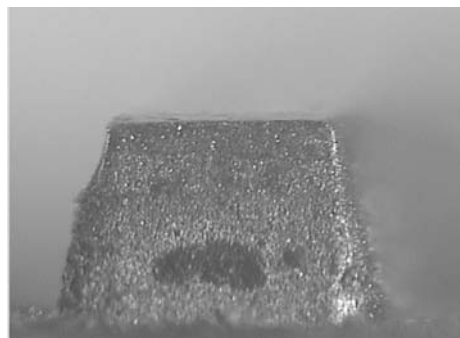
*a**б**в**г*

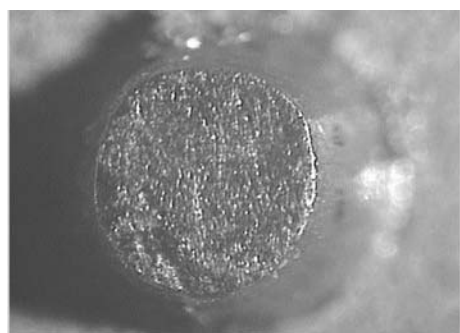
Рис. 7. Вид печатающих элементов Lt_p до тиснения:
a – штриховой, вид сверху;
б – штриховой, вид сбоку; *в* – растровый, вид сверху;
г – растровый, вид сбоку



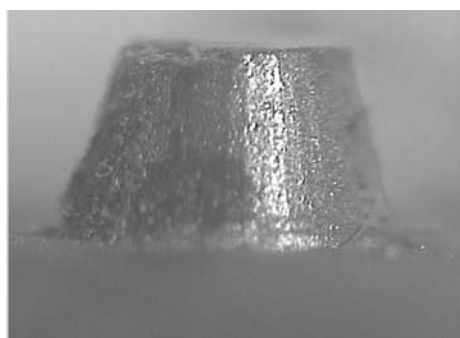
а



б



в



г

Рис. 8. Вид печатающих элементов L_t после 50 тыс. циклов тиснения:
а – штриховой, вид сверху;
б – штриховой, вид сбоку; в – растровый, вид сверху; г – растровый, вид сбоку

Нанесение защитного покрытия позволяет повысить микротвердость поверхности медного штампа в 15 раз, а латунного – в 3,8 раза.

Однако в латунном штампе покрытие нанесено на значительно более твердую подложку, поэтому износостойкость этого штампа выше.

Таблица 2

Характеристики растровых элементов штампов после 50 тыс. оттисков

Материал	Микротвердость, ГПа	Диаметр, %	Высота, %
Cu_0	0,4	91,0	46,0
Cu_p	6,0	8,0	14,2
Lt_0	1,6	46,0	20,5
Lt_p	6,0	0,0	0,0

При анализе данных табл. 2 необходимо учитывать и тот факт, что абразивные свойства фолги для тиснения намного ниже, чем у шлифовальной бумаги, с помощью которой проводятся лабораторные исследования на истирание.

Закключение. Таким образом, в результате проведения экспериментальных и теоретических исследований влияния нанесения покрытия на поверхность медных и латунных штампов на их износ установлено, что покрытие существенно повышает износостойкость штампов. Лабораторные исследования на истирание с помощью шлифовальной бумаги показали, что у медного штампа удельный износ по объему снижается в 4,4 раза, у латунного – в 1,9 раза. При проведении тиснения показано, что после 50 тыс. оттисков у медного штампа искажение диаметра растровых элементов уменьшилось в 11,4 раза, высоты – в 3,2 раза. У латунного штампа искажений не наблюдалось. Построена статистическая модель износа штампов, которая позволяет прогнозировать износостойкость штампов при проведении технологических операций тиснения.

Литература

1. Иванчишин, Г. М. Зносостійкість штампів для тиснення / Г. М. Иванчишин, В. З. Маїк // Технологія і техніка друкарства. – 2007. – № 1–2. – С. 60–64.
2. Маїк, В. З. Вплив матеріалу штампів та кількості циклів тиснення на об'ємне зношування, питоме зношування по масі, градієнт швидкості зношування, інтенсивність стирання / В. З. Маїк, М. Иванчишин // Комп'ютерні технології друкарства. – 2008. – № 21. – С. 241–246.
3. Маїк, В. З. Износостойкость полимерного материала штампов для горячего тиснения / В. З. Маїк, М. И. Кулак // Труды БГТУ. – 2013. – № 8: Издат. дело и полиграфия. – С. 19–22.
4. 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