

УДК 539.3

Маковей В.О., к.т.н., доц., Заховайко О.П., к.т.н., доц.  
НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

## ВПЛИВ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОВИХ СТАЛЕЙ НА СТІЙКІСТЬ КАРБУВАЛЬНИХ ШТЕМПЕЛІВ

Makovey V., Zakhovaiko O.  
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (mmi@kpi.ua)

### THE INFLUENCE OF MECHANICAL PROPERTIES OF POWDER STEELS ON DIE'S DURABILITY

*Представлені результати експериментальних досліджень механічних властивостей сучасних штампових сталей для виготовлення карбувальних штемпелів з метою їх порівняння для обґрунтованого вибору. Були проведені дослідження штампових сталей K455 та Vanadis-4 Extra на статичну міцність в умовах триточкового згину, визначена ударна в'язкість на зразках з V-подібним концентратором, а також за результатами втомних випробувань була побудована крива втоми та встановлена границя витривалості при симетричному циклі для сталі K455. Всі випробування проводилися за стандартними методиками на зразках, що пройшли термообробку за технологією, яка застосовується при виготовленні карбувальних штемпелів. Були також проведені натурні випробування штемпелів з вказаних матеріалів з визначенням їх тиражостійкості з обґрунтуванням отриманих результатів на основі аналізу хімічного складу, структури матеріалів та експериментально встановлених характеристик статичної і динамічної міцності.*

*Ключові слова:* порошкові штампові сталі, статична міцність, динамічна міцність, хімічний склад, структура матеріалу, стійкість карбувальних штемпелів.

#### Вступ

Складність експлуатації високонавантажених елементів карбувального інструменту пов'язана з одночасною дією двох руйнівних процесів, що мають місце в матеріалі штемпелів – зношуванням та втомою [1]. Наслідком цих процесів є виникнення втомних тріщин в поверхневих шарах матеріалу, їх ростом та подальшим катастрофічним руйнуванням штемпелів. Стійкість інструменту в більшості випадків визначається твердістю, тріщиностійкістю, зносостійкістю та структурою матеріалу, з якого він виготовлений [2, 3]. Покращенню цих характеристик може суттєво сприяти введення до сталі додаткового легуючого елементу – ванадію.

Стрічковий розподіл карбідів, так звана карбідна ліквіація, значно погіршує міцність сталі. Чим більше уковування, чим менший переріз деталі, тим сильніше подрібнюються накопичення карбідів, а значить вищою стає якість сталі. Якщо переріз деталі значний, то не завжди вдається розбити карбідну ліквіацію. Кардинальним рішенням питання є використання порошкових сталей, які не мають крупних первісних карбідів, що підвищує механічні властивості, особливо межу витривалості [4, 5].

#### Постановка технічної проблеми

Пошук найбільш придатних сучасних високоміцних матеріалів для виготовлення карбувальних штемпелів, які б забезпечували їх максимальну стійкість до зношування в процесі роботи, є актуальною задачею, адже збільшення такого показника штемпеля як тиражостійкість в умовах монетного виробництва дозволить досягти значної економії коштів, матеріалів та забезпечити виконання жорстких умов щодо якості продукції.

#### Мета роботи

Дана робота була присвячена дослідженням, в результаті яких можна було б:

- дати порівняльну оцінку механічних властивостей найбільш перспективних порошкових і не порошкових штампових сталей;
- визначити тиражостійкості комплектів штемпелів, виготовлених з порошкової сталі Vanadis-4 Extra, та порівняти її з плановою тиражостійкістю аналогічних штемпелів з інструментальною сталі K455.

#### Експериментальне дослідження механічних властивостей перспективних штампових сталей

##### 1. Випробування зразків на згин

Випробування на згин проводили згідно ГОСТ 14019-80 «Металлы. Методы испытанія на изгиб» на універсальній випробувальній машині TIRAtest-2300 з ціною поділки вимірювальних величин: по зусиллю – 1Н, по переміщенню рухомої траверси – 0,01 мм та похибкою не більше 1%.

В експериментах була реалізована схема триточкового згину, коли зразок встановлювався на дві циліндричні опори, а сила прикладалася до зразка посередині між опорами за допомогою оправки (рис. 1).

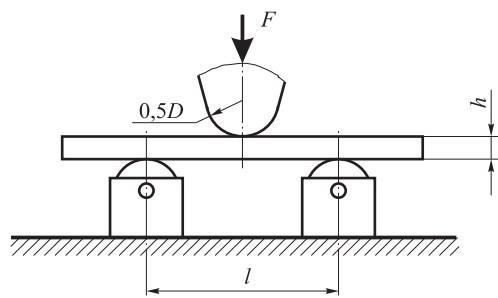


Рис. 1. Схема навантаження зразка

Ширина оправки та опор була більша від ширини зразка. Товщина оправки становила 20 мм. Радіус закругленої частини оправки становив половину її товщини – 10 мм. Радіус закруглення опор дорівнював 10 мм.

Випробування проводили на призматичних зразках прямокутного перерізу  $5 \times 10 \times 70$  мм за температури  $18-23^\circ\text{C}$ .

Зразки перед випробуваннями вимірювались за допомогою інструментального мікроскопа БМИ-1 та обчислювались їх осеві моменти опору за формулами:

$$W = \frac{hb^2}{6} \text{ або } W = \frac{bh^2}{6}, \quad (1)$$

залежно від орієнтації зразка відносно прикладеного навантаження (табл. 1).

Відстань між опорами (рис. 1) визначалась з округленням до 1,0 мм та розраховувалась за формулою:

$$l = (D + 3h) \pm \frac{h}{2} = (20 + 3 \cdot 10) \pm 0,5 \cdot 10 = 50 \pm 5 \text{ мм},$$

де  $h = 10$  мм;  $D = 20$  мм - діаметр закруглення оправки (див. рис. 2). Остаточна відстань між опорами була прийнята  $l = 50$  мм.

За допомогою твердоміра «Константа К5Д» вимірювалась твердість зразків.

Випробування проводили при плавному збільшенні навантаження на зразок. Швидкість випробування становила 7,5 мм/хв, що нижче встановленої максимальної 15 мм/хв, згідно з ГОСТ 14019-80.

Найбільші за величиною нормальні напруження у симетричному перерізі визначалися за формулою для плоского поперечного згину:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}. \quad (2)$$

Тут  $W$  – осевий момент опору перерізу,  $\text{мм}^3$ , обчислений за формулами (1), залежно від варіанту навантаження;  $M_{\max}$  – максимальний згинальний момент, обчислений посередині довжини зразка (див. рис.1):

$$M_{\max} = \frac{F}{2} \cdot \frac{l}{2} = \frac{F}{2} \cdot \frac{50}{2} = 12,5F, \text{ (Н} \cdot \text{мм)}, \quad (3)$$

де  $F$  – сила, прикладена до оправки, Н.

Випробування проводились аж до зруйнування зразка.

Результати вимірювань сили, прикладеної до зразка, та величини переміщення навантажувальної оправки, що дорівнювало прогину зразка в перерізі прикладання навантаження, фіксувались вимірювальними приладами установки з подальшим виводом на друк отриманих результатів.

Отримані результати експериментів для сталі K455 зведені до табл. 1, а для сталі Vanadis- 4 Extra – до табл.2.

Таблиця 1

Результати випробувань зразків зі сталі K455 на триточковий згин

№ зразка	Розміри поперечного перерізу, мм		Моменти опору перерізу, $\text{мм}^3$		Твердість HRC	Максимальне навантаження F, Н	Максимальні напруження $\sigma_{\max}$ , МПа	Схема навантаження
	b	h	$W_y$	$W_z$				
	5,020	10,010	42,17	-	61	11022	3267,13	
	5,040	10,020	42,42	-	61	10536	3104,67	
	5,030	10,015	42,23	-	62	11133	3295,35	
	5,010	10,015	-	83,75	61,5	23000	3432,81	

Результати випробувань зразків зі сталі Vanadis- 4 Extra на триточковий згин

№ зразка	Розміри поперечного перерізу, мм		Моменти опору перерізу, мм <sup>3</sup>		Твердість HRC	Максимальне навантаження F, Н	Максимальні напруження $\sigma_{\max}$ , МПа	Схема навантаження
	b	h	$W_y$	$W_z$				
	4,985	9,625	39,86	-	60,5	14025	4398,21	
	4,985	9,635	39,90	-	61,5	14080	4411,03	
	4,985	9,685	-	82,83	61,0	28447	4292,98	

Всі зруйновані зразки мали чітко виражений крихкий характер руйнування без помітних залишкових деформацій.

## 2. Випробування зразків на ударний згин

Випробування на ударний згин проводились у відповідності до ГОСТ 9454-78 «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах» на маятникових копрах 2010 КМ-30 з максимальною енергією удару маятника при випробуванні 300 Дж та 2083 КМ-04 з максимальною енергією удару маятника 4 Дж.

Для випробувань були використані три типи зразків:

- зразки типу I з V-подібним концентратором (ГОСТ 9454-78), рис. 2;
- зразки типу II з V-подібним концентратором типу Шарпі (ГОСТ 4647-80), рис. 3;
- зразки типу III без концентратора, рис. 4.

Всі випробування проводились за кімнатної температури 18-23°C. Зразки перед випробуваннями вимірювались за допомогою інструментального мікроскопа БМИ-1.

Випробування зразків типу I і III проводились на маятниковому копрі 2010 КМ-30, а зразки типу II – на копрі 2083 КМ-04.

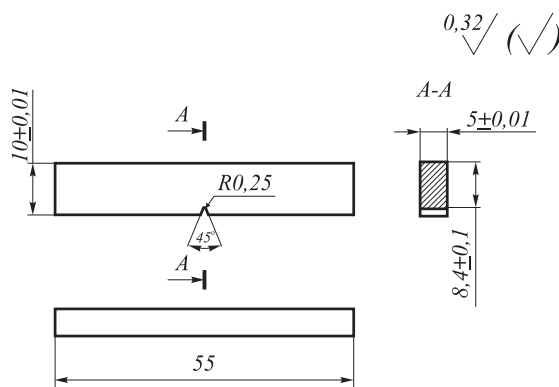


Рис. 2. Зразок для випробувань на ударний згин типу I

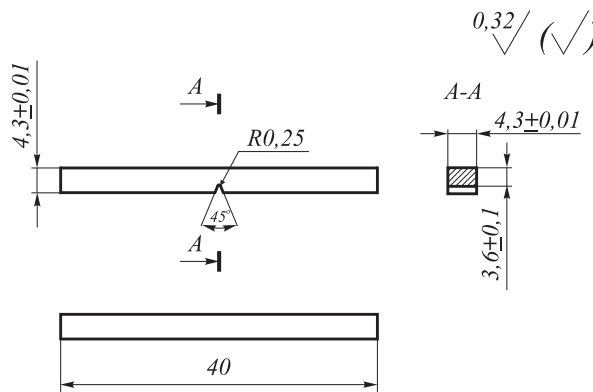


Рис. 3. Зразок для випробувань на ударний згин типу II

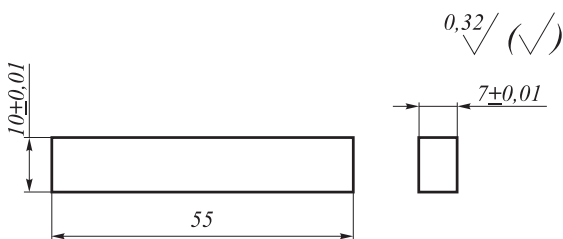


Рис. 4. Зразок для випробувань на ударний згин типу III

### Зразки з концентраторами.

Встановлення зразка проводилось за допомогою шаблона, який забезпечує симетричне розташування концентратора відносно опор з погрешністю не більше  $\pm 0,5$  мм.

Удар маятника по зразку здійснювався з боку, протилежного до концентратора, в площині його симетрії. Робота руйнування зразка при ударі визначалась за шкалою маятникового копра.

Ударна в'язкість ( $KC$ , Дж/см<sup>2</sup>) обчислювалась за формулою:

$$KC = \frac{K}{S_0}, \quad (4)$$

де  $K$  - робота удару, Дж;  $S_0$  - початкова площа поперечного перерізу зразка в місці концентратора,  $\text{см}^2$ , визначається за формулою:

$$S_0 = h_1 \cdot b, \quad (5)$$

де  $h_1$  - початкова висота робочої частини зразка, см;  $b$  - початкова ширина зразка, см.

Результати вимірювань зразків, розрахункові величини та експериментальні дані представлені в табл. 3.

Таблиця 3

**Результати випробувань зразків з V-подібним концентратором зі сталі K455 на ударний згин**

№ зразка	Твердість $HRC$	Ширина зразка $b$ , см	Висота робочої частини зразка $h_1$ , см	Площа поперечного перерізу в місці концентратора $S_0$ , $\text{см}^2$	Відстань між опорами, мм	Робота удару $K$ , Дж	Ударна в'язкість $KCV$ , $\text{Дж/см}^2$
<b>Зразки типу I</b>							
1	12	0,500	0,880	0,4404	50	3,7	8,401
2	16	0,500	0,882	0,4410	"-	4,0	9,070
3	15	0,498	0,875	0,4362	"-	4,0	9,170
4	14	0,501	0,880	0,4408	"-	3,5	7,940
5	61,5	0,501	0,879	0,4406	"-	3,5	7,376
6	61,5	0,499	0,880	0,4396	"-	3,8	8,645
Середнє значення							8,434
<b>Зразки типу II (Шарні)</b>							
1	60,8	0,436	0,350	0,1528	35	0,49	3,207
2	60,7	0,435	0,360	0,1568	"-	0,50	3,189
3	60,7	0,435	0,365	0,1588	"-	0,42	2,645
4	60,7	0,434	0,368	0,1599	"-	0,38	2,376
Середнє значення							2,854

Таблиця 4

**Результати випробувань зразків з V-подібним концентратором зі сталі Vanadis- 4 Extra на ударний згин**

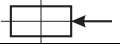


№ зразка	Твердість $HRC$	Ширина зразка $b$ , см	Висота робочої частини зразка $h_1$ , см	Площа поперечного перерізу в місці концентратора $S_0$ , $\text{см}^2$	Відстань між опорами, мм	Робота удару $K$ , Дж	Ударна в'язкість $KCV$ , $\text{Дж/см}^2$
<b>Зразки типу I</b>							
1	60,00	0,495	0,902	0,4465	50	4,8	10,750
2	59,50	0,505	0,903	0,4560	"-	5,1	11,184
3	60,00	0,496	0,906	0,4494	"-	4,3	9,569
Середнє значення							10,5

**Зразки без концентратора.** Метою випробувань зразків без концентратора було встановлення енергії руйнування, віднесеної до одиниці площі поперечного перерізу.

Результати вимірювань зразків без концентратора, розрахункові величини та експериментальні дані представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

Результати випробувань зразків без концентратора зі сталі K455 на ударний згин

№ зразка	Твердість HRC	Ширина зразка $b$ , см	Висота зразка $h_1$ , см	Площа поперечного перерізу в місці концентратора $S_0$ , см <sup>2</sup>	Відстань між опорами, мм	Робота удару $K$ , Дж	Ударна в'язкість Дж/см <sup>2</sup>	Схема навантаження
<b>Зразки типу III</b>								
1	13	0,7005	1,0005	0,7000	50	215	306,770	
2	59	0,7015	1,0000	0,7015	"-	235	337,814	
3	56,9	0,7020	1,0005	0,7023	"-	263	374,457	

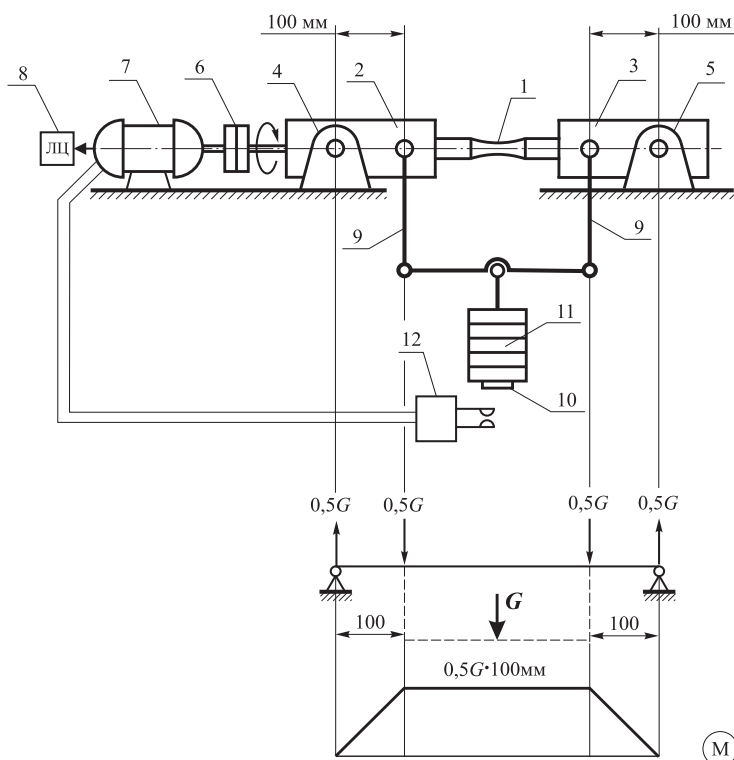


Рис. 5. Кінематична схема установки для втомних випробувань (1 – зразок; 2, 3 – захвати; 4, 5 – жорсткі опори; 6 – муфта; 7 – електродвигун; 8 – лічильник циклів; 9 – навантажувальні тяги; 10 – вантажна платформа; 11 – вантажі; 12 – блок вимикачів)

В роботі [2] представлені результати випробувань штампової сталі K455 на ударну в'язкість з використанням зразків з U-подібним концентратором. Величина КСУ в середньому складала 83,2 Дж/см<sup>2</sup>, що значно більше ніж у вітчизняній сталі ШХ -15шд після попереднього пластичного деформування, для якої ця величина складає 32,5 Дж/см<sup>2</sup>.

### 3. Випробування зразків на втому

Випробування на втому інструментальної сталі K455 проводились у відповідності до вимог ГОСТ 25.502-79 „Методы испытаний на усталость” на експериментальній установці МУИ-6000, яка забезпечує максимальну частоту навантаження 40 Гц. Кінематична схема установки представлена на рис. 5. Для можливості випробувань зразків з довільним діаметром захватної частини без втрати співвісності їх осі з віссю захвата, установка була оснащена спеціальними цанговим захватами.

В даній установці реалізується схема навантаження зразка чистим згином при його обертанні відносно осі, що відповідає вимогам п. 2.1 ГОСТ 25.502-79. При цьому в експерименті реалізується симетричний цикл зміни напружень, для якого коефіцієнт асиметрії циклу  $R_\sigma = -1$ .

Для випробувань були використані гладкі циліндричні зразки типу I (п. 1.1 ГОСТ 25.502-79) з корсетною робочою частиною двох типорозмірів (рис. 6 і 7).

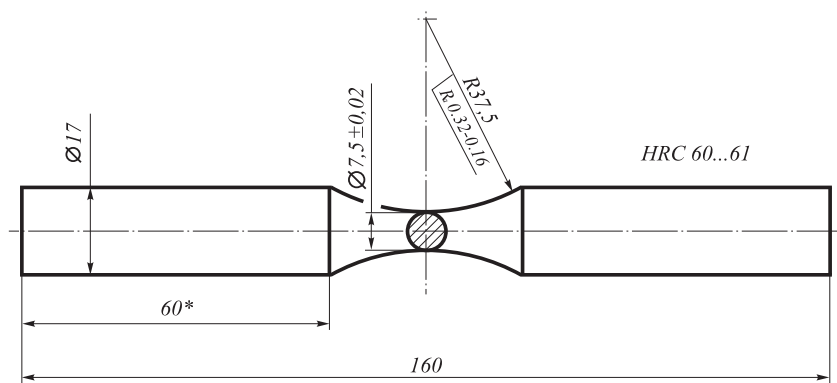


Рис. 6. Випробувальний зразок типорозміру 1

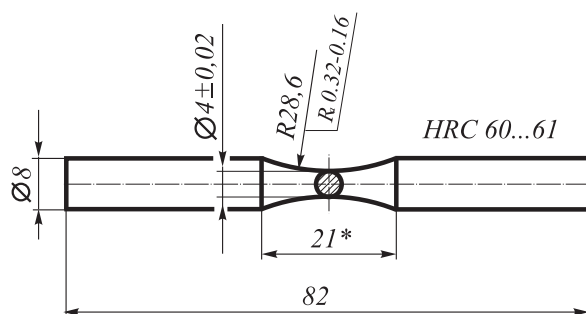


Рис. 7. Випробувальний зразок типорозміру 1

Використання зразків такого типу мало забезпечити гарантоване його руйнування у фіксованому перерізі – по середині зразка, де переріз мінімальний і де діють максимальні нормальні напруження від чистого згину.

Всі випробування проводились за температури 19-21°C. Зразки перед випробуваннями вимірювались за допомогою інструментального мікроскопа БМИ-1 та обчислювались їх осьові моменти опору за формулою

$$W = \frac{\pi d^3}{32}, \quad (6)$$

де  $d$  – діаметр зразка у мініальному перерізі.

За допомогою твердоміра «Константа К5Д» визначалась твердість зразків.

Величина навантаження обчислювалась, виходячи з необхідного максимального нормального напруження циклу (амплітуди симетричного циклу):

$$\sigma_a = \frac{M}{W} = \frac{32Fh}{\pi d^3} = h \frac{32 \cdot 0,5G}{\pi d^3}. \quad (7)$$

Звідси вага вантажу

$$G = \frac{\sigma_a \pi d^3}{16h}. \quad (8)$$

Тут  $h = 100$  мм (див. рис. 5).

Результати вимірювань зразків, розрахункові величини та експериментальні дані представлені в табл. 6. та на рис. 8, де наведена крива втоми для сталі К455.

Порівнюючи отримані результати експериментальних досліджень механічних властивостей найбільш перспективних штампових сталей К-455 та Vanadis- 4 Extra (табл.5.), можна відмітити наступне:

1. Статична міцність сталі Vanadis- 4 Extra значно вища, ніж у сталі К455. Так максимальні руйнівні напруження в умовах триточкового згинання для сталі К455 складають  $\sigma_{\max} = 3275$  МПа, а для сталі Vanadis-4 Extra –  $\sigma_{\max} = 4398$  МПа. Тобто статична міцність порошкової сталі Vanadis-4 Extra перевищує міцність сталі К455 на 30%.

Результати випробувань зразків зі сталі K455 на втому

№ зразка	Твердість HRC	Діаметр $d$ , мм	Момент опору $W$ , мм <sup>3</sup>	Вага вантажу $G$ , Н	Згинальний момент $M$ , Н·м	Амплітуда напружень $\sigma_a$ , МПа	К-сть циклів до руйнування $N_p$
Партія №1 (типорозмір 2)							
1-1	60	5,960	20,784	745	37,25	1792,2	800
1-2	60	5,935	20,523	645	32,25	1571,4	1800
1-3	60,5	5,980	20,993	545	27,25	1298,05	$8 \times 10^5$
1-4	60	5,970	20,889	445	22,25	1065,15	$7,8 \times 10^5$
Партія №2 (типорозмір 2)							
2-1	58	6,045	21,686	745	37,25	1717,7	1800
2-2	59	5,995	21,153	645	32,25	1524,6	2800
2-3	59	5,970	20,889	545	27,25	1304,5	$5,3 \times 10^5$
2-4	59	5,975	20,942	445	22,25	1062,2	$1,23 \times 10^6$
2-5	59	6,000	21,206	445	22,25	1049,2	$6,2 \times 10^5$
2-6	59,5	6,000	21,206	445	22,25	1049,2	$8,2 \times 10^5$
2-10	58,5	5,990	21,100	145	7,25	343,6	$>10^7$
Партія №3 (типорозмір 1)							
3-1	61	7,480	41,087	445	22,25	541,5	$>10^7$
3-2	61	7,450	40,545	745	37,25	918,4	$>10^7$
3-3	61	7,470	40,922	845	42,25	1032,45	$1,96 \times 10^6$

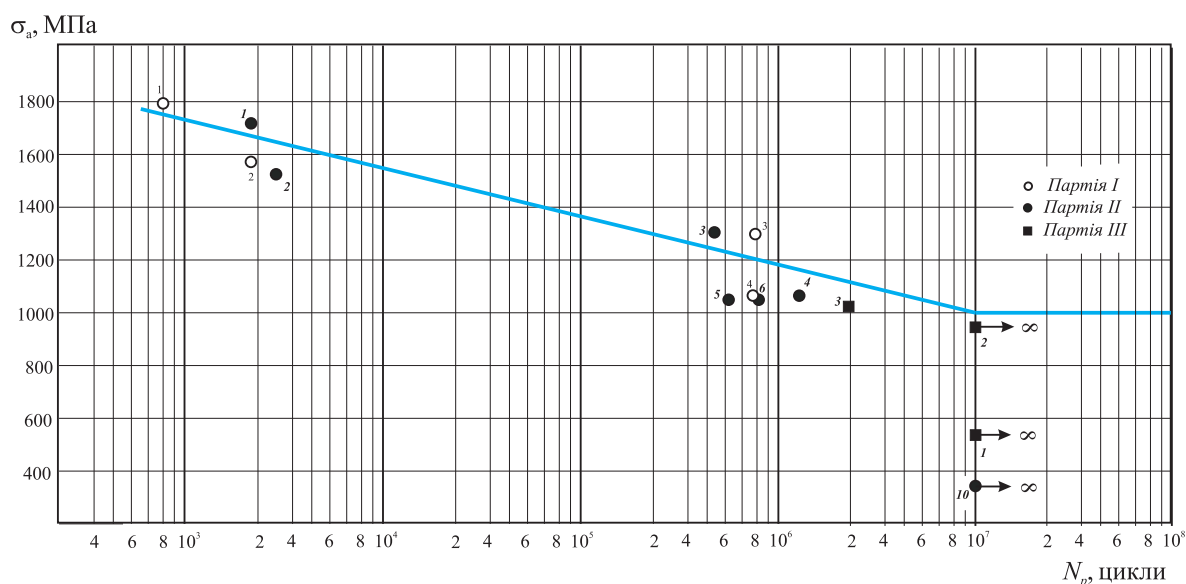


Рис. 8. Крива втоми для сталі K455

2. Динамічна міцність (ударна в'язкість) у цих матеріалів практично однакова. Всі відмінності у роботі руйнування зразків для цих сталей знаходяться в межах похибки експерименту. Обидві сталі демонструють підвищену схильність до крихкого руйнування, про що свідчить їх низька ударна в'язкість ( $KCV$ ). Середні значення ударної в'язкості випробуваних інструментальних сталей відповідно складають:

- для сталі K455 –  $KCV = 8,43$  Дж/см<sup>2</sup>,
- для сталі Vanadis-4 Extra –  $KCV = 10,50$  Дж/см<sup>2</sup>.

3. Після обробки результатів та побудови кривої втоми було встановлене орієнтовне значення границі витривалості для сталі K455 при твердості поверхні HRC58,5–61:  $\sigma_{-1} = 1000$  МПа. Сталь Vanadis-4 Extra в даному циклі досліджень не випробовувалась.

#### Хімічний склад та структура штампових сталей

В табл. 7 наведений хімічний склад вітчизняної штампової сталі ШХ-15шд та сталей іноземного виробництва K455 і Vanadis-4 Extra.

Хімічний склад сталей

Сталь	C,%	Cr,%	W,%	V,%	Mn,%	Ni,%	Mo,%	Si,%
ШХ-15шд	0,95-1,05	1,15-1,3	-	-	0,2-0,4	0,3	-	0,17-0,35
K455	0,9-1,0	1,05-1,13	0,8-0,96	0,16-0,18	0,41-0,56	0,32-0,44	-	0,24-0,44
Vanadis-4 Extra	1,4	4,7	-	3,7	0,4	-	3,5	0,4

На рис. 9 наведені структури вітчизняної сталі ШХ15шд (а), та закордонних сталей: легованої вольфрамом та ванадієм сталі K455 (б) і порошкової сталі Vanadis-4 Extra (в).

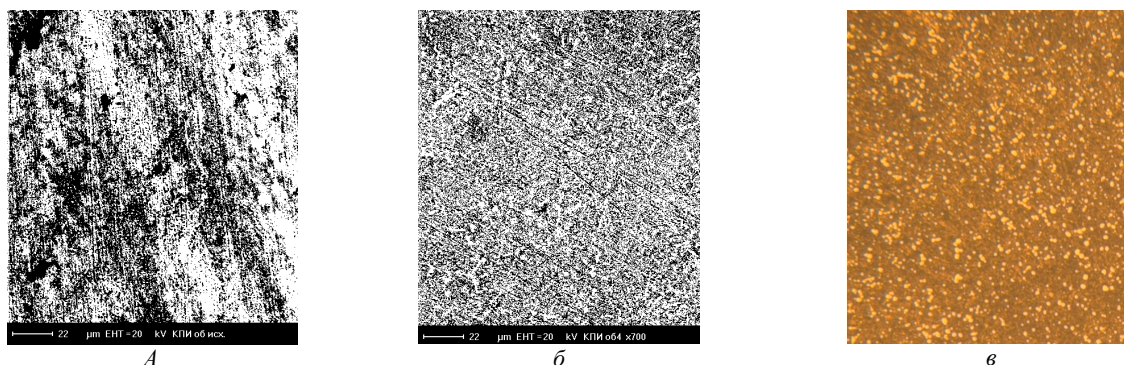


Рис. 9. Структура сталі ШХ-15шд (а), K-455 (б) та Vanadis- 4 (в) Extra після загартування без попереднього пластичного деформування

Велике значення має розподіл карбідної фази після термічної обробки. Стрічковий розподіл карбідів (карбідна ліквация) (рис. 9, а) зменшує ударну в'язкість. Тріщини, що утворюються на торці пуансона [1,2], як правило, пов'язані із значною карбідною неоднорідністю (карбідний бал понад 4-6). Макроскопічний аналіз поверхні зламу свідчить про руйнації, що мають втомний характер. Відмінною рисою таких руйнацій є те, що матеріал руйнується під дією циклічних навантажень, значно менших номінальної межі витривалості [5].

Кращою за сталь ШХ-15шд є сталь K-455, хімічний склад якої наведений в табл. 7. Вона легована вольфрамом (~ 1%) та ванадієм (до 0,2 %), що привело до подрібнення карбідної фази (рис.9, б). Найбільш ефективною за структурою є ванадієва сталь Vanadis-4 Extra, в якій завдяки технології порошкової металургії забезпечується рівномірний розподіл карбідів ванадію без скупчень (рис.9, в). Ванадій є металом з високою схильністю до карбідоутворення. Тріщини, що виникають на торці пуансона, як правило, пов'язані із значною карбідною неоднорідністю (карбідний бал понад 4-6). Макроскопічний аналіз поверхні зламу свідчить про руйнації, що мають втомний характер.

#### Дослідження тиражостійкості експериментальних зразків карбувального інструменту\*)

З метою перевірки та порівняння тиражостійкості комплектів штемпелів, виготовлених зі сталі Vanadis-4 Extra, з плановою тиражостійкістю аналогічних штемпелів зі сталі K455 були проведенні їх виробничі випробування. В якості зразків використовувались карбувальні штемпелі для виготовлення монет. На Банкотно-монетному дворі (м. Київ) були виготовленні 8 комплектів карбувальних штемпелів зі сталі Vanadis-4 Extra для карбування розмінних монет номіналом 5 копійок (4 комплекти) та номіналом 10 копійок (4 комплекти) та проведенні їх промислові випробування в цеху карбування розмінних монет.

Для масового карбування обігових монет у теперішній час використовуються високошвидкісні монетно-карбувальні преси європейських фірм: вертикально-карбувальні преси фірми «Schuler» серії MRV та горизонтально-карбувальні преси фірми «Grabeneg» серії MPU. Випускаються ці преси з номінальним зусиллям 1,5, 2 і 3 МН, кількість ходів від 300 до 750 за хвилину, робочий хід – 6 мм, регулювання закритої висоти – 4 мм.

Середня тиражостійкість комплекту карбувальних штемпелів (аверс та реверс) при карбуванні монет номіналом 5 копійок склала 1274666 шт./штемпель, при карбуванні монет номіналом 10 копійок – 407000 шт./штемпель. Планова тиражостійкість карбувальних штемпелів на рік зі сталі K455 при карбуванні монет номіналом 5 копійок становить 152000 шт./штемпель, при карбуванні монет номіналом 10 копійок – 208000 шт./штемпель (станом на 2012 рік).

Після перевірки стану поверхні відпрацьованих експериментальних штемпелів встановлено, що на їх поверхні утворились тріщини, спрямовані від концентраторів напружень (які є рельєфом відповідного дизайну монети) до гурту монети). При карбуванні монет номіналом 5 копійок відбувалося часткове відшарування



покриття (нітрид хрому) з робочої поверхні штемпелів. Покриття відновлювали і штемпелі повертали до випробувань, що підвищило їх тиражостійкість.

Початок руйнування штемпелів, залежно від типу монет, спостерігався, починаючи з 900000 шт. (при карбуванні монет номіналом 5 копійок) і з 130000 шт. (при карбуванні монет номіналом 10 копійок).

Результати випробувань показали, що тиражостійкість штемпелів з порошкової сталі Vanadis-4 Extra перевищила планову тиражостійкість штемпелів зі сталі K455 приблизно у 8,5 разів.

*\*) Дані випробування були проведені за сприяння та особистої участі д.т.н., проф. Стародуба М.П.*

#### **Висновки**

Порошкова сталь Vanadis-4 Extra, маючи в цілому кращі механічні властивості при статичному навантаженні, ніж у штампової сталі K455, і приблизно однакову з нею ударну в'язкість, при випробуваннях на стійкість перевищила у 8,5 разів планову тиражостійкість штемпелів зі сталі K455, а значить може бути рекомендованою для широкого впровадження у виробництво карбувального інструменту.

***Аннотация.** Представлены результаты экспериментальных исследований механических свойств современных штамповых сталей для изготовления чеканочных штемпелей с целью их сравнения для обоснованного выбора. Были проведены исследования штамповых сталей K455 и Vanadis-4 Extra на статическую прочность в условиях трехточечного изгиба, определена ударная вязкость на образцах с V-подобным концентратором, а также по результатам усталостных испытаний была построена кривая усталости и установлен предел выносливости при симметричном цикле для стали K455. Все испытания проводились по стандартным методикам на образцах, прошедших термообработку по технологии, применяемой при изготовлении чеканочных штемпелей. Были также проведены натурные испытания штемпелей из порошковой стали Vanadis-4 Extra с определением их тиражестойкости. Проведено обоснование полученных результатов на основе анализа химического состава, структуры материалов и экспериментально установленных характеристик статической и динамической прочности.*

***Ключевые слова:** порошковые штамповые стали, статическая прочность, динамическая прочность, химический состав, структура материала, устойчивость чеканочных штемпелей.*

***Abstract.** The results of experimental studies of the mechanical properties of modern die steels for the manufacture of stamping dies for the purpose of comparing them to make informed choices. Die steels K455 and Vanadis-4 Extra were studied to obtain static strength characteristics in a three-point bending, identified toughness on specimens with V-like hub, as well as the results of fatigue tests were described with fatigue curve and fatigue point at symmetrical cycle was estimated for steel K455. All tests were conducted using standard techniques on specimens heat treated on the technology used in the manufacture of stamping dies. There were also conducted field tests of stamps powder steel Vanadis-4 Extra with the definition of plate run. Actual tests of stamping dies were conducted to identify their plate run with the justification of the results based on the analysis of the chemical composition, structure and materials experimentally determined characteristics of static and dynamic strength.*

***Keywords:** Powder die steel, static strength, dynamic strength, chemical composition, structure material, resistance stamping dies.*

#### **Бібліографічний список використаної літератури**

1. *Маковей В.О.* Стійкість карбувальних штемпелів / В.О. Маковей, М.П. Стародуб // Удосконалення процесів та обладнання обробки металів тиском в металургії та машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ. – 2005. – С. 599-601.
2. *Маковей В.А.* Проблемы повышения стойкости чеканочных штемпелей / В.А. Маковей, В.Л. Калюжный, В.М. Горноста́й, М.П. Стародуб // Металлообработка. – 2010. – №1 (55). – С. 39-45.
3. *Афанасьева Г.И.* О видах и причинах выхода из строя пуансонов для холодного обратного выдавливания стальных деталей / Г.И. Афанасьева, В.А. Евстратов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1974. – № 4. – С. 7–10.
4. *Вейбулл В.* Усталостные испытания и анализ их результатов / В. Вейбулл // М.: Машиностроение. – 1964. – 275 с.
5. *Трощенко В.Т.* Сопrotивление материалов деформированию и разрушению: Справ. пос.: В 2 кн. / В.Т. Трощенко, А.Я. Красовский, В.В. Покровский, Л.А. Сосновский, В.А. Стрижало // К.: Наук. думка, 1993.

#### **References**

1. *Makovey V.O.* Stiykist' karbuval'nih shtempeliv. V.O. Makovey, M.P. Starodub. Udoskonalennya procesiv ta obladnannya obrobki metaliv tiskom v metalurgiyi ta mashinobuduvanni: Tematich. zb. nauk. pr. Kramators'k. 2005. P. 599-601.
2. *Makovey V.A.* Problemi povisheniya stoykosti chekanochnih shtempeley. V.A. Makovey, V.L. Kalyuzhniy, V.M. Gornostay, M.P. Starodub. Metalloobrabotka. 2010. No 1 (55). P. 39-45.
3. *Afanasyeva G.I.* O vidah i prichinah vihoda iz stroya puansonov dlya holodnogo obratnogo vidavlivaniya stal'nih detaley. G.I. Afanasyeva, V.A. Evstratov. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 1974. No 4. P. 7–10.
4. *Veybull V.* Ustalostnie ispitaniya i analis ih rezul'tatov. V. Veybull. Moscow: Mashinostroyeniye. 1964. 275 p.
5. *Troshchenko V.T.* Soprotivlenie materialov deformirovaniyu i razrusheniyu: Sprav. pos.: V 2 kn. V.T. Troshchenko, A.Y. Krasovskiy, V.V. Pokrovskiy, L.A. Sosnovskiy, V.A. Strizhalo. Kyiv: Nauk. dumka, 1993.

Подана до редакції 04.08.2015