

УДК 669.714

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ПЕРЕПЛАВУ НА ХІМІЧНИЙ СКЛАД ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

*О. О. Вольф*

*Национальной технической университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*

*В роботі показані результати дослідження впливу електронно-променевої плавки на хімічний склад та механічні властивості сплавів BT1-0, BT5 і BT20. Досліджено поведінку легуючих елементів та фізико-механічні властивості литого металу після повторних переплавів.*

*В статье изложены результаты исследования влияния электронно-лучевой плавки на химический состав и механические свойства сплавов BT1-0, BT5 и BT20. Исследовано поведение легирующих элементов и физико-механические свойства литого металла после повторных переплавов.*

*The results of investigation of influence of the cathode – ray melting, chemical composition and mechanical properties of alloys BT1-0, BT5, BT20 are shown in this article. Behavior of alloying elements and physic – mechanical properties of the cast metal after the repeated remelting is investigated.*

### **Вступ**

Електронно-променева технологія дає змогу поєднувати метод фасонного лиття (як найбільш економічний спосіб одержання готових виробів) із можливістю залучення як шихтових матеріалів різних відходів титанового виробництва, в тому числі стружки. Висока ступінь рафінування сплаву в результаті електронно-променевого перегріву і специфічна дія електронного пучка створюють потенційні можливості переробки відходів титанових сплавів і одержання на їх основі вторинних сплавів для фасонного лиття, в тому числі при одержанні деталей медичного призначення. Вказані переваги електронно-променевої ливарної технології відкривають широкі можливості для створення нових композицій сплавів, одержання виробів із них, які б задовольняли вимоги конструкторів і медиків.

---

Робота виконана під керівництвом д.т.н., проф. С.В. Ладохіна, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України

### Методика проведення експерименту

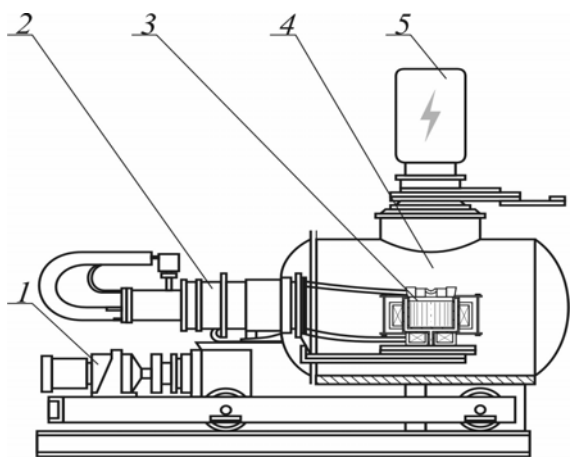
Для оцінки можливості використання методу електронно-променевої плавки при одержанні виробів медичного призначення були вибрані сплави

У разі виплавки сплавів ВТ1-0, ВТ5 і ВТ20 як вихідні матеріали використовували відходи титанових сплавів, алюміній А95, молибденіві та ніобієві пресовані штабики, цирконій йодидний. Шихтовими матеріалами служили виключно відходи виробництва у вигляді кусків та листової обрізі, а також стружка, що утворюється після первинної обточки (обдирання) промислових зливків.

Для проведення плавки по одержанню литих заготовок і фасонних відливок використовувалась розроблена у ФТІМС НАН України дослідна електронно-променева ливарна установка на базі вакуумної індукційної печі ІСВ-0,04 (рис.1). Конструкція таких печей, що випускалися серійно, давала змогу провести їх переоснащення в електронно-променевий плавильно-заливний агрегат без суттєвої зміни основних вузлів.

Як ливарну форму в експериментах використовували сталевий кокіль діаметром 110 мм та сталеву комплексну пробу для вивчення ливарних властивостей сплавів. Маса зливків, які одержували у кокілі, складала 8-12 кг, а відливок – 5-6 кг.

Темплети для виготовлення зразків для механічних випробувань вирізались у повздовжньому напрямку зливка у першому випадку і стояка відливки комплексної проби – у другому.



а



б

Рис. 1.[1]. Схема (а) і загальний вигляд (б) електронно-променевої ливарної установки ІСВ-004: 1 – привід дверей плавильної камери; 2 – механізм повороту тигля; 3 – плавильно-заливочний тигель; 4 – плавильна камера; 5 – електронно-променева пушка.

### Результати досліджень

Оскільки електронно-променева ливарна технологія дає змогу використовувати для плавки різну шихту, в тому числі у вигляді ливарних стояків та чаш, а також бракованих відливок, було доцільно оцінювати поведінку легуючих елементів та фізико-механічні властивості литого металу після повторних переплавів.

В таблиці 1 наведені результати вивчення впливу електронно-променевого переплаву на хімічний склад сплавів BT5 і BT20.

**Таблиця 1.** Хімічний склад титанових сплавів

Сплав	Хімічний склад, % мас.			
	Al	Mo	V	Zr
BT5				
Вихідний	5,6	-	-	-
I переплав	4,3	-	-	-
II переплав	4,1	-	-	-
III переплав	3,8	-	-	-
IV переплав	3,9	-	-	-
Держстандарт 19807-74	4,3-6,2	-	-	-
BT20				
Вихідний	6,2	1,5	1,5	1,8
I переплав	5,2	1,1	1,4	1,5
II переплав	4,8	1,3	1,4	1,7
III переплав	4,2	1,1	1,3	1,7
IV переплав	4,3	1,2	1,4	1,6
Держстандарт 19807-74	5,5-7,5	0,5-2,0	0,8-1,8	1,5-2,5

**Таблиця 2.** Механічні властивості титанових сплавів електронно-променевої плавки у литому стані і стандартного виробництва у деформованому стані

Сплав	Властивості					
	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCU, кДж/ /м <sup>2</sup>	НВ, МПа
BT1-0						
Вихідний	-	-	-	-	-	1700
I переплав	477	340	16	35	880	1950
II переплав	-	-	-	-	-	2050
III переплав	-	-	-	-	-	2100
IV переплав	580	450	14	32	760	2100
Пруток ГОСТ 26432-82	355-540	-	19	38	1000	1300-1600

BT5						
Вихідний	-	-	-	-	-	-
I переплав	830	640	9,6	33	640	2620
II переплав	-	-	-	-	-	2700
III переплав	-	-	-	-	-	2740
IV переплав	850	690	8,8	28	620	2860
Пруток ГОСТ 26432-82	750-950	-	10	25	300-500	2290-3210
BT20						
Вихідний	-	-	-	-	-	3150
I переплав	990	870	10,5	22	420	3200
II переплав	980	860	11	19	440	3100
III переплав	1005	910	9,6	18	410	3300
IV переплав	1000	900	10,2	19,2	420	3200
Пруток ТУ 1-92-6-72	1000-1100	-	10-13	20-36	-	-

\*  $\sigma_B$  - границя міцності,  $\sigma_{0.2}$  – опір деформації,  $\delta$  – відносне видовження,  $\psi$  – відносне звуження, КСЧ – ударна в'язкість, НВ – твердість за Бринеллем.

Що стосується механічних характеристик (таблиця 2), то навіть багатократний електронно-променеви́й пере́плав гарантує сприятливе поєднання характеристик міцності та пластичності, що перевищують відповідні показники сплавів у литому стані, отриманих іншими методами плавки.

Крім того, електромагнітне перемішування, що сприяє вирівнюванню концентрації легуючих елементів в об'ємі металу, призводить до утворення рівномірної структури, що сприятливо впливає на підвищення міцнісних та пластичних властивостей сплавів.

Ефект одночасного підвищення міцності та пластичності пов'язаний із впливом електронного променя, що зводиться до таких основних моментів:

1. більш глибоке рафінування розплаву від домішок, у т.ч. неконтрольованих вимогами Держстандартів, призводить до підвищення пластичності.
2. концентрований потік електронів високої питомої потужності може викликати як ефект, що зміцнює, так і ініціювати утворення нових фаз, які не завжди визначаються металографічно і відрізняються від матриці в той чи інший бік.

## Висновки

Перевага електронно-променевої плавки над іншими методами спеціальної металургії полягає в більш ефективному рафінуванні металів і сплавів від металічних домішок, газів та неметалічних включень, що надає можливість одержання високоякісних сплавів для фасонного литва.

Аналіз одержаних у досліді даних показує, що:

1. Вміст алюмінію зменшується приблизно на 20-25% у порівнянні з вихідним після першого переплаву і залишається практично незмінним при наступних переплавах.

2. Вміст ванадію, молібдену, цирконію залишається в межах хімічного складу, регламентованого відповідним стандартом, хоч і зміщується до його нижнього значення.

Після проведення електронно-променевого переплаву спостерігалось краще значення пластичності та міцності, на що впливало утворення рівномірної структури металу.

### Література

1. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве / Под ред. С. В. Ладохина – К.: Изд-во «Сталь», 2007. – 626 с.
2. Механічні властивості титанових сплавів електронно-променевого переплаву / Левицький М. І., Мірошніченко В. І., Лапшук Т. В., Яковлев В. Т. // Металознавство та обробка металів. – 2001. - №3. – С. 69-73.