

ОСВОЄННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗЛИВКІВ ІЗ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ ХН38ВТ І ХН60ВТ СПОСОБОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ПЛАВКИ

С.В. Ахонін¹, В.О. Березос¹, М.І. Медведєв², О.С. Бобух², Д.С. Іванов³, О.Г. Єрохін¹

¹ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України.

03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: titan.paton@gmail.com

²Український державний університет науки і технологій.

49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2. E-mail: office@ust.edu.ua

³ТОВ «Запорізький ливарно-механічний завод».

69008, м. Запоріжжя, вул. Південне шосе, 72. E-mail: venomzp@live.com

З метою відпрацювання технології виробництва жароміцних сплавів на основі нікелю та заліза в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України проведено роботи з виплавки партії зливок марок ХН38ВТ та ХН60ВТ. Зливки отримували за технологією електронно-променевої плавки з проміжною ємністю і порційною подачею рідкого металу у водоохолоджуваній кристалізатор. Проведені роботи показали, що спосіб електронно-променевої плавки дозволяє отримувати якісні бездефектні зливки жароміцних сплавів на основі нікелю, що задовольняють вимогам стандартів, і може бути використаний замість вторинного вакуумно-дугового переплаву. При використанні в якості вихідної шихтової заготовки зливок первинного індукційного переплаву не потрібно дошихтування легуючими елементами з високою пружністю пари для забезпечення хімічного складу, що задовольняє ГОСТ 5632–72. Крім цього, рівень механічних властивостей прутків сплаву ХН60ВТ практично повністю задовольняє вимогам ТУ 14-3-571–2004 на «Труби безшовні холоднодеформовані із сплаву ХН60ВТ (ЭИ868) та сплаву ХН60ВТ-ВД для авіаційної промисловості». Бібліогр. 10, табл. 4, рис. 10.

Ключові слова: жароміцний сплав, шихтова заготовка, зливок, електронно-променева плавка, проміжна ємність, рафінування, домішки, якість металу

Вступ. Важливе значення у підвищенні службових і технологічних властивостей жароміцних сталей має розробка нових технологічних процесів, що забезпечують видалення домішок, неметалевих включень та отримання фізично і хімічно однорідних зливок [1].

Серед металургійних методів підвищення якості сталей і сплавів чільне місце займає вакуумна металургія [2, 3]. При плавлі металу у вакуумі, з одного боку, виключає його взаємодію з атмосферними газами, а з іншого, інтенсифікуються реакції дегазації та випаровування. Крім того, в результаті переплаву у вакуумному середовищі вдається додатково очистити метал від неметалевих включень, отримувати зливки і готові вироби з однорідною щільною структурою без будь-яких макродефектів [4].

Нові процеси електронно-променевої плавлення (ЕПП) дозволяють отримувати метал ще вищої якості [5, 6].

Електронно-променева плавка, що втілила в собі кращі риси вакуумно-індукційної та вакуумно-дугової плавок, є ефективним способом пічної вакуумної металургії. При ЕПП відсутній контакт

рідкого металу з вогнетривкими матеріалами, а процеси нагрівання і плавлення керуються незалежно один від одного, що дозволяє в широких межах змінювати температуру рідкого металу та час вакуумування [7]. Ці переваги у поєднанні з безперервною подачею металу забезпечують отримання при ЕПП зливок максимально високої чистоти з бездефектною структурою.

Застосування технології ЕПП для підвищення якості спеціальних сталей і складнолегованих сплавів на основі заліза та нікелю дозволяє при переплаві цих матеріалів одночасно з різким зменшенням вмісту водню, азоту, кисню практично повністю видаляти багато легкоплавких домішок (свинець, цинк, вісмут, олово та ін.) і, навіть, знижувати вміст неметалевих включень. В результаті ЕПП, завдяки високому ступеню рафінування і формуванню більш однорідних за структурою та хімічним складом зливок, суттєво підвищуються фізико-механічні властивості металів та сплавів [8]. Збільшується їхня технологічна пластичність, особливо при обробці тиском. Так, переплав інструментальних і підшипникових сталей забезпечує: покращення деформованості у гарячому

С.В. Ахонін — <https://orcid.org/0000-0002-7746-2946>, В.О. Березос — <https://orcid.org/0000-0002-5026-7366>,
М.І. Медведєв — <https://orcid.org/0000-0002-1230-420X>, О.С. Бобух — <https://orcid.org/0000-0001-7254-3854>,
Д.С. Іванов — <https://orcid.org/0009-0000-6916-8109>, О.Г. Єрохін — <https://orcid.org/0000-0003-2105-5783>



Рис. 1. Шихтові заготовки: а — ХН60ВТ; б — ХН38ВТ

стані; зниження необхідного ступеня укова та чутливості до утворення тріщин при термічній обробці; поліпшення полірованості та підвищення пластичних властивостей [9].

Матеріали і методика проведення експериментів. З метою вивчення ступеня очищення жароміцних сплавів на основі нікелю та відпрацювання технології їх виробництва в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України проведено роботи з виплавки зливків марок ХН38ВТ і ХН60ВТ. Сплав ХН60ВТ на основі нікелю широко застосовується в авіаційній промисловості. Зливки отримували за технологією ЕПП з проміжною ємністю і порційною подачею рідкого металу у водоохолоджуванний кристалізатор.

Для проведення дослідних плавок використовували електронно-променеву установку УЕ5812, оснащену проміжною ємністю [10].

Технологічна послідовність виплавки зливків складалася з наступних етапів: відбір проб для контрольного хімічного аналізу вихідної шихти;

підготовка обладнання і технологічного оснащення до плавки; формування заготовки, що витрачається; процес плавки; відбір проб для хімічного і газового аналізу виплавленого зливка.

За технологією виробництва та очищення складнолегованих жароміцних сплавів на основі нікелю у ДП «НВЦ «Титан» ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України» проведено роботи з виплавки партії зливків марок ХН60ВТ і ХН38ВТ.

Шихтові заготовки для виплавки зливків сплавів марок ХН60ВТ і ХН38ВТ являли собою зливки первинного індукційного переплаву (рис. 1).

Головні частини вихідних заготовок мали у своєму складі деяку кількість закристалізованого шлаку (рис. 2).

У порівнянні зі зливком ВДП, зливка для ЕПП не потребує додаткової обробки поверхні (проточування різцем або оплавлення дугою), а також не потребує видалення прибуткової частини зливка.

Досвід виплавки жароміцних сплавів на нікелевій основі способом ЕПП з проміжною ємністю показав, що при досить великій кількості шлаку у вихідній шихті відбувається його потрапляння в проміжну ємність. При накопиченні шлаку в проміжній ємності відбувається перекриття зливного носика, тим самим створюються умови, що ускладнюють злив рідкого розплаву в кристалізатор. Крім того, проміжна ємність не в змозі забезпечити затримку всього накопичуваного в процесі плавки рідкого шлаку і деяка його кількість потрапляє в рідкий розплав металу у кристалізаторі. При заливанні чергової порції розплаву у кристалізатор може відбуватися заплутування шлаку в рідкому розплаві у холодних стінок кристалізатора, тим самим погіршуючи якість поверхні зливка.

Отже, з метою виключення попадання великої кількості шлаку в зону плавлення і кристалізації зливка, вихідні заготовки завантажувалися в установку таким чином, щоб переplав проходив від донної частини на початку плавки до головної частини в кінці плавки.



Рис. 2. Зовнішній вигляд головної частини вихідної шихтової заготовки

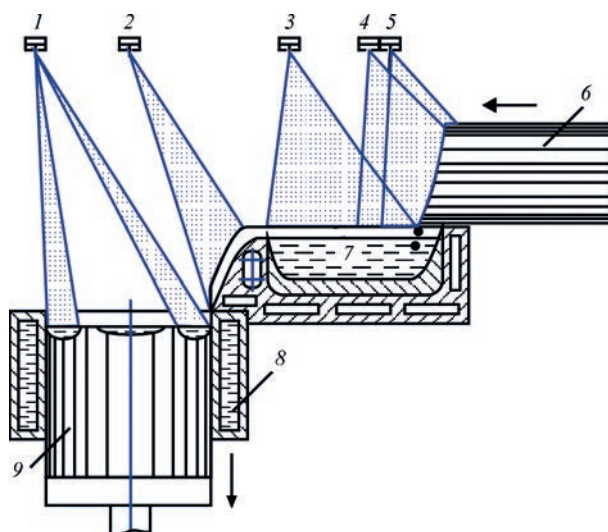


Рис. 3. Схема електронно-променевої плавки з проміжної ємності: 1–5 — електронно-променеві гармати; 6 — витратна шихтова заготовка; 7 — проміжна ємність; 8 — кристалізатор; 9 — зливков

Витратну шихтову заготовку за допомогою цехового крана завантажували в корб електронно-променевої установки.

Після завантаження шихтової заготовки і підготовки установки до плавки її герметизували і вакуумували. При досягненні робочого тиску в камері плавки $1,33 \cdot 10^{-2} \dots 6,66 \cdot 10^{-3}$ Па визначали натікання у робочий об'єм камери. Допустиме значення натікання не більше 30 мкм³/с.

Сутність процесу (рис. 3) полягала в горизонтальній подачі заготовки 6, що витрачається, з заданою швидкістю в зону плавки, її плавленні електронними променями над проміжною ємністю 7. По мірі заповнення проміжної ємності рідкий метал зливали в кристалізатор 8, де відбувалося формування зливка 9 необхідної довжини.

Для кожного зливка проводили нове наплавлення гарнісажу у проміжній ємності (рис. 4).

У процесі плавки вихідна шихта безперервно подавалася в робочу область над проміжною ємністю, де під дією електронно-променевого нагрівання відбувалося її сплавлення. Процес плавки протікав стабільно, проте спостерігалось виділення значної кількості шлаку, який затримувався у проміжній ємності в зоні плавки, також спостерігалось його потрапляння в невеликих кількостях в рідкий розплав у кристалізаторі (рис. 5).

З метою поліпшення процесів рафінування від шкідливих домішок та включень при виплавці зливків жароміцних сплавів на основі нікелю було збільшено час витримки рідкого металу в проміжній ємності та кристалізаторі за рахунок зниження продуктивності плавки з 280 до 240 кг/год.

У ході плавки, відповідно до проведених розрахунків щодо визначення оптимальних режимів



Рис. 4. Зовнішній вигляд гарнісажу

плавки, підтримувалися постійними наступні технологічні параметри: швидкість плавки, час між заливкою порцій, висота порцій в кристалізаторі. Обігрів зливка у кристалізаторі проводився шляхом сканування по поверхні променем електронно-променевих гармат. У процесі плавки електронний промінь переміщався по верхньому торцю формованого зливка в зоні контакту розплаву з робочою поверхнею внутрішньої частини кристалізатора, забезпечуючи більш глибоке пропалвлення поверхні зливка, заплавлення всіх наявних ливарних дефектів і компенсацію тепловідведення до кристалізатора, що позитивно позначалося на структурі. Чисельні значення технологічних параметрів для зливків діаметром 400 мм наведені нижче.

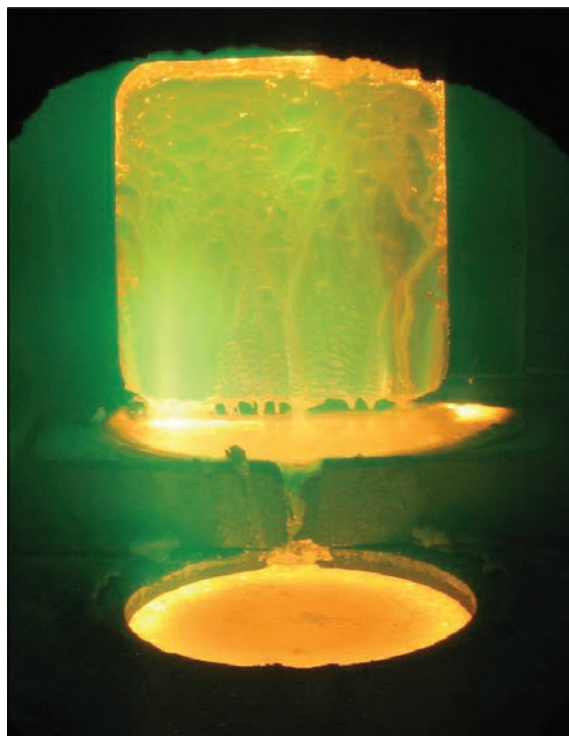


Рис. 5. Процес ЕПП жароміцного сплаву на основі нікелю ХН60ВТ



Рис. 6. Плавлення шлаку, що міститься у вихідній шихтовій заготовці

**Технологічні параметри плавки зливків
діаметром 400 мм**

Швидкість плавки, кг/год.	240
Час між заливкою порцій, с	60
Висота порцій в кристалізаторі одночасно, мм	4
Потужність 1-ї гармати, кВт	90
Потужність 2-ї гармати, кВт	90
Потужність 3-ї гармати, кВт	90
Потужність 4-ї гармати, кВт	150
Потужність 5-ї гармати, кВт	150

Швидкість і потужність наплавлення металу у проміжну ємність та кристалізатор підтримували постійними. Процес сплавлення вихідних шихтових заготовок продовжувався до підходу до зони плавки головної частини. Цей момент чітко спостерігався при попаданні в зону плавлення шлаку, що міститься в головній частині вихідної заготов-



Рис. 8. Якість литої поверхні зливка діаметром 400 мм жароміцного сплаву ХН60ВТ

ки. При цьому відбувалося інтенсивне розбризкування металу і яскраве світіння шлаку, що плавиться (рис. 6). У цей момент процес плавлення вихідної шихтової заготовки припинявся.

Наприкінці плавки проводили виведення усадкової раковини шляхом поступового зниження потужності обігріву верхнього торця зливка в кристалізаторі.

В результаті проведених плавок отримані зливки з жароміцних сплавів на основі нікелю ХН60ВТ і ХН38ВТ із зовнішнім діаметром 400 мм та довжиною до 2000 мм (рис. 7)

Якість поверхні зливків на наявність пор, раковин, неметалевих включень, тріщин визначали візуально, без застосування збільшувальних приладів. Бічна поверхня виплавлених зливків після охолодження протягом 6 год у вакуумі чиста, без слідів кольорів мінливості. Глибина поверхневих дефектів ливарного походження не перевищувала 6 мм, дефекти у вигляді розривів, тріщин або несплавлень відсутні. Спостерігали окремі вкраплення шлаку в поверхневому шарі зливка (рис. 8).

Торцювання готових зливків проводили на стрічковій пилці.



Рис. 7. Готові зливки діаметром 400 мм із жароміцних сплавів: а — ХН60ВТ; б — ХН38ВТ

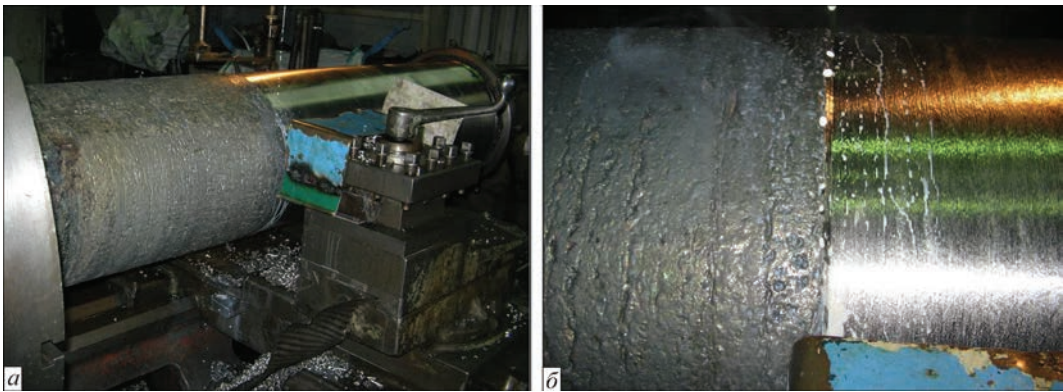


Рис. 9. Механічна обробка зливка діаметром 400 мм жароміцного ХН60ВТ

З метою видалення дефектів ливарного характеру зроблено механічну обробку поверхні отриманих зливок. Зливки обдирали на токарному верстаті DIP-500 (рис. 9).

Таким чином, відпрацьована технологія виплавки високоякісних зливок жароміцних сплавів на основі нікелю способом електронно-променевої плавки, що дозволяє отримувати зливки із задовільною якістю поверхні. Показано можливість застосування ЕПП замість ВДП для переплаву заготовок відкритої індукційної плавки.

Від отриманих зливок було здійснено відбір проб для ІСР аналізу в головній, середній та дон-

ній частинах. Відбір проб проводили з бічної поверхні зливок при їх механічній обробці наступним чином: попереднє засвердлювання на глибину 2...3 мм, стружка поверхневого шару при цьому відкидалася. Пробу відбирали при подальшому засвердлюванні на глибину 7...10 мм. Перегрівання стружки при відборі проб не допускалося. Мастоохолоджуючі рідини при відборі проб не застосовували. Відібрані проби укладали в пакети з паперу із зазначенням номера плавки та місця відбору проби. Вага кожної проби була щонайменше 20...30 г. Вміст елементів у зливках приймали

Таблиця 1. Хімічний склад зливок ЕПП сталей ХН60ВТ, ХН38ВТ, мас. %

Марка	Місце відбору проб	Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr
ХН38ВТ	Початковий	34,209	0,07	0,343	0,674	36,351	21,521
Після ЕПП	1	34,709	0,11	0,357	0,435	35,802	21,131
	2	34,358	0,09	0,361	0,462	35,757	21,068
	ГОСТ 5632–72	31,08...41,44	0,06...0,12	<0,80	<0,70	35,0...39,0	20,0...23,0
ХН60ВТ	Початковий	0,214	0,08	0,393	0,455	58,83	23,526
Після ЕПП	1	0,218	0,09	0,198	0,194	59,13	23,363
	2	0,207	0,10	0,177	0,189	59,25	23,417
	ГОСТ 5632–72	<4,00	<0,10	<0,80	<0,50	50,874...63,200	23,50...26,50

Закінчення табл. 1.

Марка	Місце відбору проб	W	Ti	Al	Ce	S	P
ХН38ВТ	Початковий	3,450	0,856	0,460	<0,03	0,001	0,0065
Після ЕПП	1	3,490	0,891	0,464	—»—	—»—	0,010
	2	3,370	0,926	0,461	—»—	—»—	0,013
	ГОСТ 5632–72	2,80...3,50	0,70...1,20	<0,50	—»—	<0,020	<0,030
ХН60ВТ	Початковий	14,670	0,488	0,356	—»—	0,010	0,0081
Після ЕПП	1	14,460	0,429	0,379	—»—	0,003	0,0050
	2	14,980	0,433	0,400	—»—	—»—	0,0060
	ГОСТ 5632–72	13,0...16,0	0,30...0,70	<0,50	—»—	<0,013	<0,013

Таблиця 2. Вміст домішок і модифікаторів у зливках ЕПП сталей ХН60ВТ, ХН38ВТ, мас. %

Марка	Місце відбору проб	As	Ca	Cd	Ce	Co	Cu
ХН38ВТ	Початковий	<0,001	0,010	<0,001	<0,03	0,020	0,047
Після ЕПП	1	—»—	0,013	—»—	—»—	0,019	0,039
	2	—»—	0,011	—»—	—»—	—»—	0,040
ХН60ВТ	Початковий	—»—	0,032	—»—	—»—	0,003	0,002
Після ЕПП	1	—»—	0,009	—»—	—»—	0,002	—»—
	2	—»—	0,012	—»—	—»—	—»—	—»—

Закінчення табл. 2.

Марка	Місце відбору проб	Mg	Mo	Nb	Pb	Sb	V
ХН38ВТ	Початковий	0,005	0,155	0,013	0,003	0,017	0,010
Після ЕПП	1	0,004	0,158	0,012	0,002	0,015	0,011
	2	—»—	0,160	0,016	0,003	—»—	—»—
ХН60ВТ	Початковий	0,344	0,003	<0,001	0,004	0,013	<0,001
Після ЕПП	1	0,014	0,006	0,002	0,003	0,017	—»—
	2	—»—	0,007	0,004	—»—	0,013	—»—

рівним середньоарифметичному значенню результатів вимірювань всіх зразків.

За такою ж методикою було відібрано по одній точці з центральної частини кожної вихідної шихтової заготовки.

Вміст хімічних елементів визначали методом індуктивно-пов'язаної плазми/оптичної емісійної спектроскопії (ICP-OES) на ICP-спектрометрі ICAP 6500 DUO.

Результати вимірювань хімічного складу вихідних шихтових заготовок і готових зливок за основними елементами та домішками згідно з ГОСТ5632–71 наведено в табл. 1.

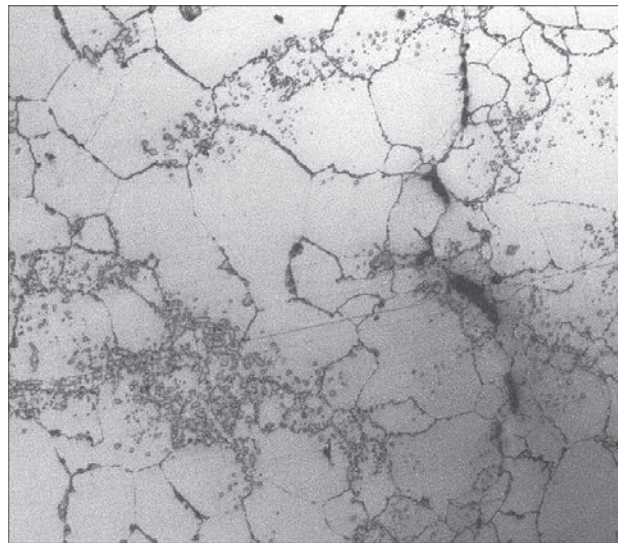


Рис. 10. Мікроструктура пруткової заготовки діаметром 165 мм зі сплаву ХН60ВТ (×100)

Крім того, були проведені вимірювання вмісту інших домішок і модифікаторів (табл. 2).

Аналіз отриманих результатів показав, що при ЕПП вихідних заготовок вміст марганцю зменшується на 35 % для сплаву ХН38ВТ і на 57 % для сплаву ХН60ВТ. Також у сплаві ХН60ВТ відбувається суттєве зниження вмісту магнію на 95 % і кремнію на 50 %. Слід зазначити деяке підвищення вмісту фосфору в сплаві ХН38ВТ. За вмістом інших хімічних елементів у зливках сплавів ХН60ВТ і ХН38ВТ після електронно-променевого переплаву суттєвої зміни немає.

Для визначення вмісту кисню і азоту виготовлялися зразки МІ-99 циліндричної форми діаметром та довжиною по 4 мм. Зразки виготовляли із заготовок, взятих із фаски торців зливок.

Визначення вмісту азоту і кисню у сплавах ХН60ВТ та ХН38ВТ проводили на аналізаторі ТС-500. Принцип дії аналізатора для визначення азоту/кисню ТС-500 полягає в тому, що аналізований зразок плавиться в графітовому тиглі печі опору в потоці гелію. При реакції кисню, що звільня-

Таблиця 3. Вміст газів у зливках ЕПП сталей ХН60ВТ, ХН38ВТ, мас. %

Марка	Стан	[O]	[N]
ХН38ВТ	Початковий	0,0048	0,0084
	Після ЕПП	0,0043	0,0078
ХН60ВТ	Початковий	0,0048	0,026
	Після ЕПП	0,0041	0,015

Таблиця 4. Механічні властивості прутків діаметром 165 мм зі сплаву ХН60ВТ, одержаних способом ЕПП

Номер зразка	δ , %	ψ , %	σ_r , МПа	σ_b , МПа
1	68,4	70,2	311	749
2	67,4	65,9	323	756
3	67,6	70,9	303	745
ТУ 14-1-286–72	45...60	52...60	295...390	740...880

ється, з графітом утворюється СО і частково СО₂. Ці гази спільно з гелієм відносяться і проходять через каталізатор (на основі CuO), де СО окислюється до СО₂. Суміш проходить через інфрачервону комірку, яка вимірює зниження інтенсивності інфрачервоного випромінювання, викликаного поглинанням СО₂, що пропорційно вмісту кисню, що визначається.

Потік газів з ІЧ комірки надходить через каталізатор «Lecosorb», де затримується СО₂ і Н₂О та азот, що залишився, виноситься в потоці гелію в термокондуктометричну комірку, де на принципі різної теплопровідності двох газів (детектована суміш азоту і гелію проти чистого гелію) визначається вміст азоту.

Результати вимірювання вмісту кисню й азоту у сплавах ХН60ВТ та ХН38ВТ наведено у табл. 3.

Як видно з таблиці, вміст кисню знижується на 10...14 % для сплавів ХН38ВТ і ХН60ВТ. Вміст азоту для металу ХН38ВТ знижується на 8 %, для металу ХН60ВТ на 42 %.

З метою подальшого вивчення якості металу отриманих зливок проведено дослідження з виготовлення напівфабрикатів у вигляді прутків сплаву ХН60ВТ.

Зі зливок діаметром 400 мм способом ковки виготовляли прутки діаметром 165 мм. Деформаційну обробку зливок проводили в діапазоні температур 1170...900 °С.

Дослідження одержаної пруткової заготовки діаметром 165 мм зі сплаву ХН60ВТ показали, що мікроструктура аустенітна, з величиною зерна, що відповідає 1-2 номеру ДЕРЖСТАНДАРТУ 5639 (рис. 10).

Дослідження механічних властивостей отриманого металу проводили шляхом випробування зразків на розтягування за $T = 20$ °С. Результати проведених випробувань (див. табл. 1) показують, що метал напівфабрикатів у вигляді прутків, отриманих в результаті проведеної роботи, відповідає вимогам стандарту. При цьому прутки характеризуються підвищеною пластичністю. Це може бути пов'язане з тим, що під час процесу ЕПП забезпечується більш глибоке видалення неметалевих включень та одержання низьких значень вмісту газів.

Проведені роботи показали, що спосіб електронно-променевої плавки дозволяє отримувати якісні бездефектні зливки жароміцних сплавів на основі нікелю, що задовольняють вимогам стандартів, і може бути використаний замість вторинного вакуумно-дугового переплаву. При використанні в якості вихідної шихтової заготовки зливок первинного індукційного переплаву не потрібно дошихтування легуючими елементами з високою пружністю пари для забезпечення хімічного складу, що задовольняє ГОСТ 5632–72. Крім цього необхідно підкреслити, що рівень механічних властивостей прутків сплаву ХН60ВТ практично повністю задовольняє вимогам ТУ 14-3-571–2004 на «Труби безшовні холоднодеформовані із сплаву ХН60ВТ(ЭИ868) та сплаву ХН60ВТ-ВД для авіаційної промисловості».

Список літератури/References

1. Bratkovsky, E.V., Zavodany, A.V. (2008) *Electrometallurgy of steel and special electrometallurgy*. Novotroitsk, NF MISiS [in Russian].
2. Zhouhua, J., Yanwu, D., Kuangdi, X. (2023) Vacuum Metallurgy. In: *The ECPH Encyclopedia of mining and metallurgy* Ed. by Xu, K. Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-0740-1_1388-1
3. Voskoboynikov, V.G., Kudrin, V.A., Yakushev, A.M. (2002) *General metallurgy: Textbook for universities*. 6th Ed. Moscow, ICC Akademkniga [in Russian].
4. Kudrin, V.A. (2003) *Theory and technology of steel production*. Moscow, Mir [in Russian].
5. Paton, B.E., Trigub, N.P., Kozliten, D.A. et al. (1997) *Electron beam melting*. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
6. Ladokhin, S.V., Levitskyi, M.I., Chernyavskyi, V.B. et al. (2007) *Electron beam melting in foundry production*. Kyiv, Stal [in Russian].
7. Paton, B.E., Trigub, N.P., Akhonin, S.V. (2008) *Electron beam melting of refractory and highly reactive metals*. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
8. Trigub, N.P., Akhonin, S.V. (1996) Optimization of smelting of steel and alloy ingots in an electron beam installation with an cold hearth. *Problemy Spets. Elektrometallurgii*, 2, 12–17 [in Russian].
9. Movchan, B.A., Trigub, N.P., Gromov, V.I. et al. (1975) Purity and properties of SH15, 18H2N4VA and H18N10T steels, premelted in an electron beam furnace with an cold hearth. *Problemy Spets. Elektrometallurgii*, 1, 48–50 [in Russian].
10. Trigub, N.P., Zhuk, G.V., Kornejchuk, V.D. et al. (2007) Industrial electron beam installation UE-5812. *Sovrem. Elektrometall.*, 1, 11–14 [in Russian].

MASTERING THE TECHNOLOGY OF PRODUCING INGOTS
FROM HEAT-RESISTANT ALLOYS KhN38VT AND KhN60VT
BY THE ELECTRON BEAM MELTING METHOD

S.V. Akhonin¹, V.O. Berezos¹, M.I. Medvedev², O.S. Bobukh², D.S. Ivanov³, O.G. Yerokhin¹
¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: titan.paton@gmail.com
²Ukrainian State University of Science and Technologies.

2 Lazaryan Str., 49010, Dnipro. E-mail: office@ust.edu.ua
³Zaporizhzhia Casting-Mechanical Plant.

72 Pivdenne Prosp., 69008, Zaporizhzhia, Ukraine. E-mail: venomzp@live.com

In order to optimize the technology of production of nickel- and iron-based heat-resistant alloys, the E.O. Paton Electric Welding Institute performed melting of a batch of ingots of Kh38VT and Kh60VT grades. The ingots were produced using the technology of cold-hearth electron beam melting and portioned feed of liquid metal to a water-cooled crucible. The conducted work showed that the electron beam melting method allows producing high-quality defect-free ingots of nickel-based heat-resistant alloys that meet the requirements of the standards, and it can be used instead of secondary vacuum-arc remelting. When using ingots of primary induction remelting as the initial charge billet, it is not necessary to add alloying elements with high vapor pressure to ensure a chemical composition that meets GOST 5632–72. In addition, the level of mechanical properties of KhN60VT alloy bars almost completely satisfies the requirements of TU 14-3-571–2004 on «Seamless cold-deformed pipes from the KhN60VT (EI868) alloy and KhN60VT-VD alloy for the aviation industry». 10 Ref., 4 Tabl., 10 Fig.

Keywords: heat-resistant alloy, charge billet, ingot, electron beam melting, cold-hearth, refining, impurities, metal quality

Отримано 06.08.2024
Отримано у переглянутому вигляді 11.09.2024
Прийнято 17.12.2024

ПЕРЕДПЛАТА 2025

Журнали	Вартість передплати на друковані версії журналів*, грн.				
	місяць	два місяця	квартал	півроку	рік
«Автоматичне зварювання», видається з 1948 р., 6 випусків на рік. ISSN 3041-2374 (Print). ISSN 3041-234X (Online). Передплатний індекс 70031	–	300	–	900	1800
«Сучасна електрометалургія», видається з 1975 р., 4 випуски на рік. ISSN 3041-238 (Print). ISSN 3041-2331 (Online). Передплатний індекс 70693	–	–	300	600	1200
«Технічна діагностика та неруйнівний контроль», видається з 1989 р., 4 випуски на рік. ISSN 3041-2366 (Print). ISSN 3041-2358 (Online). Передплатний індекс 74475	–	–	300	600	1200
«The Paton Welding Journal»**, видається з 2000 р., 12 випусків на рік. ISSN 0957-798X (Print). ISSN 3041-2293 (Online). Передплатний індекс 21971	600	1200	1800	3600	7200

*Вартість з урахуванням доставки рекомендованою бандероллю.
** Журнал «The Paton Welding Journal» містить статті, отримані від авторів з усього світу і вибірково переклади на англійську мову статей з журналів «Автоматичне зварювання», «Сучасна електрометалургія», «Технічна діагностика та неруйнівний контроль». Передплату на журнали можна оформити по каталогах передплатних агенцій «УКРПОШТА», «Прес Центр», «Меркурій» та у видавництві. Передплата через видавництво з любого місяця на любой термін, в т.ч. на попередні періоди та окремі статті, починаючи з першого року видання.
Передплата на електронну версію журналів. Вартість передплати на електронну версію журналів дорівнює вартості передплати на друковану версію. Випуски журналу надсилаються електронною поштою у форматі pdf.
На сайті видавництва у 2024 р. доступні для вільного копіювання випуски журналів з 2007 по 2023 рр.

Адреса видавництва
Міжнародна Асоціація «Зварювання»
03150, Україна, Київ, вул. Казимира Малевича, 11. Тел.: (38044) 205-23-90
E-mail: journal@paton.kiev.ua; www.patonpublishinghouse.com