

УДК 621.745.5

ЕЛЕКТРОННО–ПРОМЕНЕВИЙ ПЕРЕПЛАВ: МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ (Огляд)

Ю. Я. Готвянський, Н. М. Рокожиця

*Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”*

Розглянуто сучасний стан, переваги, недоліки та перспективи розвитку електронно-променевого переплаву.

Рассмотрено современное состояние, преимущества и недостатки, перспективы развития электронно-лучевой плавки.

The state of the art, advantages and negative sides, prospects of development of electron beam technology is considered.

Вступ

Сучасна техніка (в першу чергу атомна енергетика, авіакосмічна техніка, хімічне машинобудування, суднобудування і ін.) потребують для свого розвитку як розробки нових, так і помітного покращення властивостей існуючих матеріалів. Отримання таких матеріалів можливо при використанні тільки самих сучасних технологій, в першу чергу різних методів спеціальної металургії. Одним з таких методів є електронно-променевий переплав (ЕПП), який відрізняється від інших більш високою рафінуючою здатністю. Це обумовило достатньо широке її застосування при очищенні різних металів й сплавів не тільки тугоплавких й хімічно активних, але й покращення якості спеціальних сталей та інших сплавів на основі заліза, нікелю, кобальту.

Історія електронно-променевої технології починається з фундаментальних відкриттів в галузі фізики електронних пучків. Перші спроби ЕПП були здійснені в 1905 р. Пірані; йому вдалося плавка навіть таких тугоплавких металів, як тантал [1]. Але в той час ні вакуумна, ні електронна техніка ще не отримала потрібного розвитку, тому роботи Пірані не знайшли технічної реалізації. І лише з середини 20-х років починається бурний розвиток електронної оптики, що створює можливість надійного отримання й формування електронних пучків.

В нашій країні розвиток ЕПП пов'язаний з роботами академіків Б. Є. Патона і Б. А. Мовчана, під керівництвом яких на початку 60-х років ХХ ст. в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАНУ були

створені основи технологічних процесів і розроблене перше вітчизняне електронно-променево-плавильне устаткування [3]. На жаль, у середині 70-х років минулого століття інтерес до ЕПП знизився у зв'язку з інтенсивним розвитком інших методів спеціальної електрометалургії – електрошлакового (ЕШП), вакуумно-дугового (ВДП), плазово-дугового (ПДП), вакуумно-індукційного переплавів (ВІП). Це було обумовлено тим, що ЕПП поступалася вказаним методам по показникам собівартості і продуктивності, а покращення їх технологічних процесів створювало ілюзію про можливість покращення якості металів до рівня, який забезпечується при ЕПП. Відродження інтересу до ЕПП припадає на початок 80-х років, коли в США почали створювати електронно-променеві печі нового покоління великої потужності. В 1995 р. загальна усталена потужність електронно-променевих печей в США досягла 14 МВт, а в теперішній час – 30 МВт, що робить цю країну світовим лідером в галузі використання ЕПП.

В Україні усталена потужність електронно-променевих печей складає біля 10 МВт, що є третім показником у світі (після США і Російської Федерації). При цьому ці печі використовуються переважно для плавки титану з губки або відходів. Велика увага в нашій країні приділяється створенню технології отримання титанових злитків безпосередньо з губки. Роботи в цьому напрямі почали проводитися 20 років тому і отримані результати створюють необхідні умови для того, щоб відмовитися від створення в країні технологій ВДП титану. Принциповою особливістю даних розробок є перехід на використання електронно-променевих гармат високовольтного тліючого розряду, які не потребують оснащення вакуумними насосами і стійко працювати при інтенсивному газовиділенні [1].

Принципово важливими задачами ЕПП є:

- отримання в матеріалі литих виробів рівня властивостей, які б не поступалися властивостям аналогічних сплавів у деформованому стані;
- визначення характеру змінення властивостей сплавів електронно-променевої плавки при високих температурах і їх порівняння з властивостями сплавів ВДП.

Спосіб ЕПП принципово відмінний від інших способів СЕМ тим, що потужність підводиться не через витратний електрод, а від окремого, кільцевого катода. Під дією електронного пучка, який скерований у зону плавлення, можна досягнути температури до 7000°C . Це дає змогу виплавляти сплави на основі надтугоплавких металів, а також особливо чистих металів [1, 2].

Перевагою ЕПП перед іншими методами спеціальної металургії є більш ефективна очистка металів і сплавів від домішок, неметалічних включень, газів. Це пояснюється не тільки проведенням процесу при значно меншому тиску залишкових газів у плавильній камері, що характерно для інших способів вакуумної металургії, але й особливостями електронно-променевого нагріву, а також можливістю витримки розплаву при високих температурах практично любий необхідний для розвитку процесів рафінування час.

У зв'язку з високою хімічною активністю тугоплавких і високореакційних металів, характерними представниками яких є ніобій, тантал, цирконій, титан й уран, при високих температурах, особливо в розплавленому стані, їх плавка можлива тільки в вакуумі або в середовищі інертних газів. Тому на завершальних стадіях виробництва злитків тугоплавких і високореакційних металів використовують технології ВДП, ВІП і ЕПП для остаточного рафінування й дегазації в вакуумі. Проведені в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України науково-дослідницькі й конструкторські роботи дали змогу розробити технології ЕПП вище вказаних металів і сплавів на їх основі, а також створити необхідне обладнання для їх реалізації, яке забезпечує більш високу ступінь видалення домішок, ніж при ВДП і ВІП [3, 4].

Серед наведених способів спеціальної металургії ЕПП є найбільш ефективним методом вакуумної металургії для отримання сталей і сплавів високої якості. Розроблена технологія з сумісним індукційним та електронно-променевим нагрівом, яка інтенсивно перевіряється як метод рафінування ливарних відходів жароміцних сталей. При виплавці жароміцних сталей однією з важливих задач, разом з забезпеченням вмісту основних елементів, є їхнє рафінування від шкідливих домішок [1].

Таблиця 1 Вміст неметалевих включень у жароміцних сплавах різних методів переплаву

Метал	Вміст включень, мас.%
Вихідний	0,0085 – 0,01
ВІП (вакуумно-індукційна плавка)	0,0026 – 0,0043
ВДГП (вакуумно-дугова гарні сажна плавка)	0,0018 – 0,0034
ЕПГП (електронно-променева гарні сажна плавка)	0,0012 – 0,0021

Характерними особливостями технології ЕПП, які визначають її високу ефективність, є обробка рідкого металу вакуумом (тиск залишкових

газів в камері плавки підтримують у діапазоні 0.01...1 Па), а також розділення процесів плавлення і кристалізації. Це дозволяє практично повністю виключити протікання неконтролюємих фізико-хімічних реакцій у розплаві на протязі плавки і дає можливість цілеспрямовано впливати на процеси кристалізації рідкого металу, тобто керувати хімічним складом і кристалічною структурою зливків, що виплавляються.

Отримання злитків цирконію і його сплавів в усьому світі виробляється методом ВДП, причому переплав не менше двох разів. Для отримання трубних заготовок з сплавів цирконію запропонували [3] використовувати електронно-променеву ливарну технологію, що дозволило відмовитися від ВДП й наступного переробу зливка в трубну заготовку шляхом механічної обробки. При використанні ливарної технології скорочується число технологічних операцій, відпадає необхідність у дорогому термічному і механічному устаткуванні, різко скорочується кількість відходів, зменшується загальна окисленність металу.

По ряду причин, обумовлених металургійними і технологічними особливостями, в процесі ЕПП поверхня отриманих злитків має різного роду дефекти: гофри, тріщини, загортання, пори газового й усадкового походження. Найбільш розповсюдженими способами видалення цих дефектів є механічні способи: обдирка, абразивна зачистка, фрезерування і т.д. Ці способи характеризуються низькою продуктивністю й стійкістю інструменту, а також присутністю відходів у вигляді стружки або металоабразивної пилі, що складає 5-15% маси зливка. З метою скорочення втрат металу в стружку проводять оплавлення поверхні зливків електронними променями на обмеженій ділянці завдяки послідовному переміщенню оплавленої зони та одночасному обертанню зливка по всій його довжині. Після оброблення електронним променем мікрорельєф поверхні зливків стає рівним, а глибина проплавленого шару становить 3-4 мм. Метал стає щільним, порівняно з головною частиною зливка, має дрібнокристалічну структуру, в ньому відсутні неметалічні включення, мікропори, тріщини. Однак значної зміни хімічного складу поверхневого шару зливка не відбувається. Технологія електронно-променевого оплавлення зливків дозволяє видаляти більшість поверхневих дефектів без механічної обробки поверхні зливків, що збільшує вихід придатного металу на 10 – 20 % в залежності від діаметру зливка [2].

В результаті проведених наукових досліджень розроблені такі передові технології, як:

- виробництво методом електронно-променевої плавки з проміжною смністю високолегованих сплавів титану;

- виплавка крупно габаритних зливків діаметром до 1,2 м з необроблених блоків губчатого титану;
- виплавка порожнинних зливків для виробництва крупно габаритних титанових труб;
- оплавлення бокової поверхні зливків, яка успішно використовується замість їхньої механічної обробки.

Зараз електронно-променеві технології разом з ЕПП включає цілий ряд специфічних напрямлень, таких як випаровування матеріалів з нанесенням покриттів, зварювання, розмірна обробка (отримання покриттів, фрезерування та ін.), зонна очистка, локальне плавлення й закалювання, термообробка, хімічні електронно-променеві процеси (вулканізація, полімеризація, стерилізація та ін.).

Література

1. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве / Под ред. С.В.Ладохина – К.:Изд-во «Сталь», 2007. -626 с.
2. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф.Чернега, В.С.Богушевський, Ю.Я.Готвянський та ін.; За ред. Д.Ф.Чернеги, Ю.Я.Готвянського. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.
3. Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высокорреакционных металлов / Б.Е.Патон, Н.П.Тригуб, С.В. Анохин.- Киев:Наук.думка, 2008. - 312 с.
4. Электронно-лучевая плавка титана / Б.Е.Патон, Н.П.Тригуб, С.В.Анохин, Г.В.Жук.- Киев:Наук.думка, 2006. - 248 с.