МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НІКОПОЛЬСЬКИЙ ТЕХНІКУМ
НАЦІОНАЛЬНОЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ АКАДЕМІЇ
УКРАЇНИ

Г.О.КОЗЛОВ

І.В. МОРОЗОВ

УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ПЕРЕПЛАВУ

ЧАСТИНА І

Рекомендовано
предметно-цикловими комісіями
металургійних дисциплін та
інженерної механіки
Нікопольського технікуму НМетАУ

Нікополь

2009

Установки електронно-променевого переплаву: Підручник для студентів ВНЗ./ Козлов Г.О., Морозов І.В., - Нікополь: НТ НМетАУ, 2009. - 20 с.

Розглядається конструкція установок електронно-променевого переплаву. Приведена сучасна класифікація, маркірування, устрій сучасних установок. Охарактеризоване основне та допоміжне обладнання установок електронно-променевого переплаву. Наведено короткі характеристики технологічних окремих установок.

Призначений як підручник для студентів ВНЗ І-ІІ рівня акредитації спеціальності: "Виробництво сталі і феросплавів", спеціалізація денної та заочної форм навчання

Іл.9 табл. 1 бібліогр. список 7 назв.

Уклали Г.О. Козлов
І.В. Морозов

Відповідальний за випуск Н.В. Швайка

© Г.О. Козлов, І.В. Морозов

© НТ НМетАУ, 2009

ЗМІСТ

ВСТУП **4**
ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПЛАВИЛЬНИХ УСТАНОВОК **4**
ПЛАВКА ЕЛЕКТРОННИМ ПРОМЕНЕМ **6**
КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОННОПРОМЕНЕВИХ ПЕЧЕЙ **10**
ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ **15**
ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВА ПІЧ В – 270 ..... **15**
ЛІТЕРАТУРА **20**

ВСТУП

Розвиток різних галузей машино будівництва в багатьох випадках визначається станом та технічним рівнем виробництва електросталі. Надійність й довговічність машин, механізмів, приладів, конструкцій підвищується внаслідок застосування металу з потрібними фізичними і механічними властивостями, які визначаються не тільки хімічним складом сталей і сплавів, але й цілим рядом технологічних факторів.

Задача отримання високоякісного металу вимагає від металургів розробки і використання таких технологічних процесів виплавки легованої сталі, які б усували властиві звичайним виплавкам дефекти і забезпечували виробництво прокату з більш високими механічними і фізичними властивостями.

В зв'язку з цим значний інтерес представляє собою електронно-променевий переплав, який широко використовується в сталеплавильному виробництві.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПЛАВИЛЬНИХ УСТАНОВОК

В зв'язку з особливостями електронного нагріву електронні плавильні установки отримали розповсюдження в металургії тугоплавких металів, а також для рафінувального переплаву сталей і сплавів.

Подібно ВДП переплав металу в електронних плавильних установках дозволяє очистити його від летучих домішок і отримати щільну однорідну структуру виливку.

ЕПП дозволяє виробляти метал найбільш високого ступеня чистоти, який якісно значно кращий, ніж метал ВДП.

Електронно-променеву плавку використовують для отримання дуже чистої по неметалевим включенням кулько підшипникової сталі, що використовується для виготовлення високошвидкісних прецизійних підшипників, чистих по вмісту кисню і азоту жаротривких сталі і сплавів.

Можливість отримання високих температур і регулювання швидкості плавлення і часу пересування металу у рідкому стані дозволила використовувати ЕПП для плавки тугоплавких металів вольфраму, ніобію, цирконію та інших.

Основним фактором, що стримує широке використання електронних плавильних установок у сталеплавильному виробництві є їх низька продуктивність і, як наслідок, низький К.К.Д.

Та при однаковій потужності у 15 – 200 кВт швидкість плавлення становить:

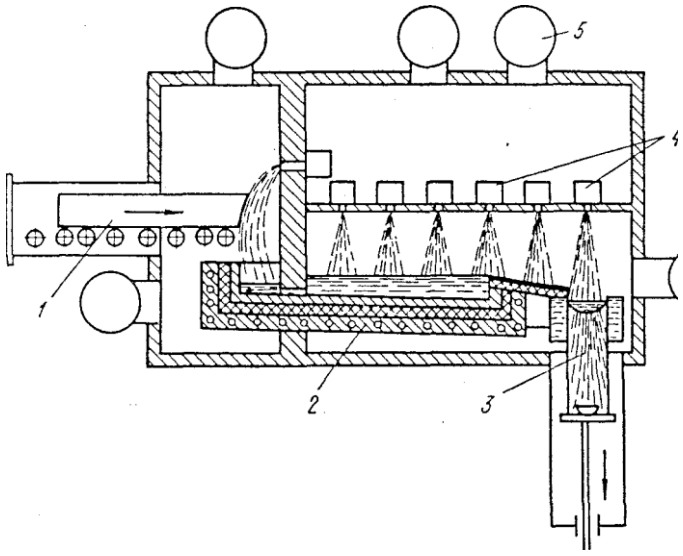
- на вакуумних дугових печах 5–10 кг/хв,
- на електронних плавильних установках - лише 0,4 - 0,5 кг/хв;

при цьому повний К.К.Д. електронної плавки становить близько 10 %. Низький К.К.Д. електронної плавки пояснюється необхідністю витримувати кожну чергову порцію забрудненого домішками металу, що потрапляє у ванну кристалізатора, у перегрітому стані впродовж деякого проміжку часу, що гарантує потрібний ступінь рафінування. Суттєво підвищити К.К.Д. електронної плавки і тим самим зробити її доцільною для сталі менш коштовних марок можливо, якщо рафінувати метал до потрапляння порції в кристалізатор.

З цієї точки зору перспективними є установки з так званою холодною подиною (Рисунок 1).

В установках такого типу плавильний об'єм робочої камери відокремлений від рафінувального перегородкою. Краплини рідкого металу заготовки, що переплавляється, стікають у кристалізатор. А в проміжну ємкість (холодна подина), по якій перетікають в рафінувальну частину робочої камери. Тут метал додатково перегрівається електронними гарматами, піддається рафінуванню і стікає в кристалізатор.

Керування процесом кристалізації здійснюється спеціальною електронною гарматою, що підтримує у кристалізаторі оптимальну глибину рідкої ванни.



1 – заготовка; 2- водоохолоджуєма подина з футеровкою та гарнісажем; 3 – виливок; 4 – електронні гармати; 5 – вакуумні насоси

Рисунок 1 - Схематичне зображення установки холодноподинного електронного рафінування

При такій схемі рафінування процеси плавлення заготовки, рафінування і кристалізації здійснюються в окремих зонах, що дозволяє підтримувати оптимальні умови для кожного процесу.

Якщо установку оснастити шлюзовими пристроями для подачі заготовок і прибирання виливків, то в ній можна легко здійснювати безперервний процес, при чому плавлення заготовки можна проводити необов'язково електронним променем. В принципі такі установки можуть працювати на рідкому напівпродукті, що отримується більш економічним способом.

Установка електронно-променевого подинного рафінування працює з 1970 року в США. Плавлення і чорнове рафінування металу здійснюється в вакуумній індукційній печі. Напівпродукт переливається у індукційну піч прохідного типу, з якої безперервно потрапляє на холодну подину, підігрівається електронними гарматами, рафінується і потрапляє в установку безперервної розливки.

Система обладнана двадцятьма двома електронними гарматами потужність 200 кВт кожної при напрузі ЗО кВ, з них постійно працюють не більш дванадцяти, а решта є резервним. Щоб попередити потрапляння на емітер гармати парів і бризок, електронний промінь відхиляється на кут 270^0.

На установці рафінують феритні нержавіючі сталі, що містять менш ніж 0,0025% Cr та 1% Mo.

Після рафінування сталь містить менш ніж 0,002% С та менш 0,008% N, вміст інших шкідливих домішок може бути знижений нижче порогу чутливості аналітичних способів їх виявлення. При цьому на кожну тонну металу, що рафінують, випарюється близько 20 кг розплаву.

ПЛАВКА ЕЛЕКТРОННИМ ПРОМЕНЕМ

Розвивається спосіб рафінування металу електронно-променевою плавкою (ЕПП), що здійснюється в електронних плавильних установках, в яких метал нагрівається потоком електронів, що генерується спеціальним пристроєм електронною гарматою. На шляху від джерела електронів до поверхні об'єкта, що нагрівається, електрони розганяються електричним полем до енергії 5 ÷ 40 кеВ. При зустрічі з поверхнею металу електрон, що рухається, викликає збудження поля іонів, що знаходяться у вузлах ґраток металу, в наслідок чого посилюється коливальний рух іонів, тобто підвищується температура металу, а електрони гальмуються.

Глибина проникнення електрона (b) в метал визначається енергією електрона, що падає, пропорційній квадрату напруги, що прискорює і густиною металу.

$$b = 2{,}1 \cdot 10^{-12} \frac{U^2}{g} \text{ см},$$

де U - прискорююча напруга,
g - густина металу Г/см^3.

З цієї формули слідує, що потужність пучка електронів поглинається дуже тонким шаром поверхні металу. Так при прискорюючій напрузі 40 кВ глибина проникнення електронів у сталь становить приблизно 5 мкм.

Це говорить про те, що електронний нагрів є яскраво визначеним поверхневим нагрівом, а передача тепла основній масі металу здійснюється теплопровідністю або конвекцією. Але при зіткненні електронів з поверхнею не вся їх енергія передасться металу. Внаслідок взаємодії з іонами ґратки траєкторія руху електронів змінюється і при визначених умовах електрони можуть відбитися і забрати з собою частину енергії.

Середня частка енергії, що забирається відбитими електронами, пропорційна порядковому номеру металу, що нагрівається і становить 35 - 45 % його початкової енергії.

При цьому величина витрат потужності внаслідок відбиття електронів може сягати 20% потужності бомбардуючого електронного пучка. При різкому гальмуванні електронів частина їхньої енергії витрачається також у вигляді випромінювання. Довжина хвилі гальмувального випромінювання залежить від енергії електронів.

$$Л_{min} = \frac{1{,}237}{U} \text{ мм},$$

І при прискорюючій напрузі в десятки кіловат, яка використовується в плавильних установках, виникає рентгенівське випромінювання. Потужність загальмованого рентгенівського випромінювання залежить від сили електронного струму I, прискорюючої напруги U, порядкового номеру металу, що нагрівається Z, і пов'язана з цими величинами рівнянням:

$$\mathrm{P}_{\text{рен}} = r \cdot I \cdot U^{1.75} \cdot Z,$$

де r - коефіцієнт пропорційності.

В електронних плавильних установках потужність втрат на рентгенівське випромінювання не перевищує 0,5% потужності електронного пучка і в відношенні теплової роботи установок її можна не враховувати. Однак зі збільшенням прискорюючої напруги потужність рентгенівського випромінювання швидко зростає і при напругах, які перевищують 20 кВ, рентгенівське випромінювання може становити велику небезпеку для обслуговуючого

персоналу. При напругах вище 50 кВ захист обслуговуючого персоналу стає дуже складним, тому установки з такою прискорюючою напругою не будують.

Помітні втрати потужності можуть відбуватися на шляху електронного пучка від катода до поверхні металу. Ці втрати складаються з втрат енергії окремих електронів при зіткненні їх з частками газу і втрат, що виникають внаслідок взаємодії електронного пучка в цілому з іонізованим залишковим газом.

Зіткнення прискорених електронів з частками залишкового газу або парами металу, як відомо, супроводжується перерозподілом енергії і збудженням або іонізацією нейтральних часток. Внаслідок взаємодії променя з полем іонізованого газу первинно однорідній по довжині, промінь стає нестійким, в ньому з'являються згустки електронів. Неоднорідний промінь збуджує високочастотне електромагнітне поле, через яке відбувається передача енергії променя шару заряджених часток.

Когерентна взаємодія променя з зарядженими частками спостерігається при довжині променя більш 0,2 м. При меншій довжині променя згустки електронів у промені, напевне утворитись не встигають.

Таким чином, втрати енергії променя на шляху до поверхні металу залежать від довжини шляху, сили струму пучка, швидкості електронів і концентрації часток в газовому середовищі і визначаються конструкцією установки і не можуть бути змінені свавільно.

В одних і тих же установках величина втрат по довжині променя визначається глибиною вакууму. При тиску залишкових газів 133 мПа вона може сягати 20 ÷ 30% потужності променя і різко зростає з підвищенням тиску. Виходячи з цього, електронну плавку доцільно вести при тиску менш 66,6 мПа (5÷10 мм рт.ст).

При низькому тиску залишкових газів частки в газовій фазі уявляють собою в основному пари металу. Концентрація парів визначається перегрівом металу над температурою плавлення. Збільшення перегріву збільшує потужність парів, поширює випарювання і навіть при низьких тисках залишкових газів значно збільшує енергетичні втрати променя.

В зв'язку з цим режим електронного нагріву повинен задовольняти суперечливі вимоги:

- з одного боку метал доцільно дужче перегрівати, також при цьому підвищується швидкість рафінування,
- з іншого боку це призводить до зросту втрат металу на випарювання і погіршує К.К.Д установки внаслідок підвищення втрат енергії на шляху електронів до поверхні металу.

В зв'язку з цим, необхідно в кожному конкретному випадку вибирати оптимальний режим, що задовольнить усі ці суперечливі потреби. Як і у вакуумних дугових печах, рафінування металу в електронних плавильних

установках здійснюється в основному завдяки обробці кожної порції металу вакуумом і внаслідок спрямованої кристалізації виливку, що наплавляють.

Особливості електронного нагріву дозволяють максимально використовувати ці можливості рафінування металу. На відміну від дугових вакуумних печей (ДВП), в електронних плавильних установках є можливість регулювати розподіл потужності між заготовкою, що переплавляється і рідкою ванною. Концентруючи електронний промінь на поверхню рідкої ванни, метал можна легко перегрівати до будь-якої температури і витримувати в такому стані впродовж будь-якого часу при значно більш низьких тисках, ніж у вакуумних дугових печах.

Поверхневий характер нагріву в електронно-променевих плавильних установках забезпечує великий градієнт температур по глибині рідкої ванни виливку ,що наплавляють, дозволяє отримувати звичайний перегрів поверхневого шару металу при малій глибині ванни і підтримувати більш плоску форму ванн, ніж ДВП. Тому виливок, що наплавляють, в електронних плавильних установках, характеризується більш яскраво вираженою вістовою кристалізацією, ніж виливок ДВП.

Це створює більш сприятливі умови для рафінування металу і в процесі кристалізації.

Таким чином, при ЕПП усуваються причини, що обмежують ступінь рафінування металу при застосуванні ДВП. Завдяки цьому електронна плавка дозволяє якнайменше рафінувати метал при високій якості.

КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОННОПРОМЕНЕВИХ ПЕЧЕЙ

Більшість сучасних ЕПП можна розділити на дві категорії:

- установки з аксіальними гарматами,
- установки з кільцевими катодами.

Аксіальні електронні гармати

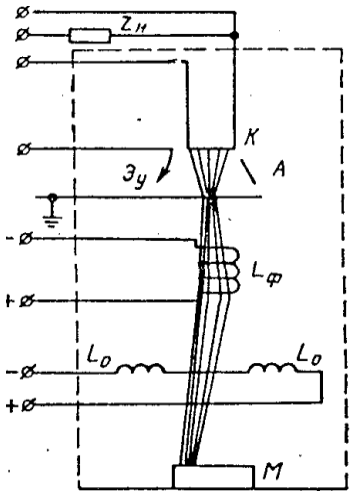
На рисунку 2 приведено схему електронного пучка в установці з аксіальною електронною гарматою. Катод К можна нагрівати як шляхом пропускання струму - прямий нагрів, так і шляхом непрямого нагріву електронним бомбардуванням. В цьому випадку в печі є допоміжний катод. Між основним і допоміжним катодом накладається різниця потенціалів для розгону електронів. Навколо катода розташовується спрямовуючий (фокусуючий) електрод, який мас слабкий фокусуючий заряд.

Його призначення - фокусування електронного потоку в отвір анода і запобігання розходженню електронів в різні боки.

Анод виконується у вигляді діафрагми з отвором; звичайно анод заземлено, а катод ізольовано.

Між анодом і катодом прикладається розганяюча напруга до 30 кВ.

Нижче анода розташована фокусуюча система, що збирає пучок у вузький промінь, і що фокусує його на об'єкті, який нагрівається. Далі слідує електростатична відхиляюча система, що направляє промінь у будь-яке місце заготівки, або що розвертає промінь по визначеній траєкторії, наприклад, по колу, вісімко подібній кривій, спіралі Архімеда. На Рисунок2 приведено схему однієї з найбільш вдалих конструкцій аксіальних електронних гармат М. Арденна. В цій гарматі встановлено масивний вольфрамовий катод у вигляді диску, що розігрівається допоміжним катодом до температури 2350^0С.



1 – катод;
А – анод;
Еу – керуючий електрод;
Lф – фокусуюча система;
Lo – відхиляюча система;
М – метал, що нагрівається.

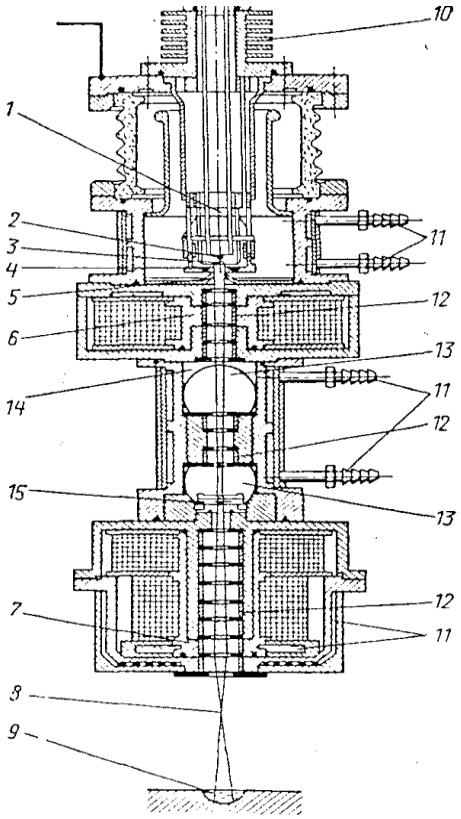
Рисунок 2 - Схема електронного пучка в установці з аксіальною електронно-променевою гарматою

Пучок електронів, ідучи в промінєпроводі, проходить ряд діафрагм діаметром від 14 до 25 мм. Діафрагмування у поєднанні з індивідуальною відкачкою камер між діафрагмами допомагає дроселювати тиск.

Тому тиск в плавильній камері може значно перевищувати тиск у камері утворення променя, де він повинен бути не більш як 10 мм рт.ст., в супротивному випадку між анодом і катодом може відбуватися електричний розряд. Відхиляюча і фокусуюча системи уявляють собою електромагнітне поле. Взаємодія магнітного поля з електронним пучком утворює потрібний вплив на пучок. Для забезпечення рівномірного нагріву і проплавлення усієї шихти рівномірно розподіляють енергію пучка по кінцю, що нагрівається, або по шихті, що завантажена в тигель. Нагрів електронним пучком відбувається з поверхні тому, що проникнення електронів у метал невелике, в наслідок чого потрібна розгортка променя. Крім розгортки променя, важливо вірно вибрати діаметр електронної плями на об'єкті, що нагрівається.

При дуже сфокусованій плямі можна "просвердлити" заготовку, але не розплавити її, при розфокусованій плямі концентрація теплової енергії буде малою, тепловитрати великими, метал не розплавиться. Оптимальний розмір плями:

- в печі ЕМО-200 (ГДР) 90÷100 мм,
- в печі ЕМО-1200 (потужністю 1200 ÷ 1700 кВт) оптимальний діаметр плями 180 мм при діаметрі кристалізатора 800 мм.



1 – променева система;
2 – допоміжний катод;
3 – основний катод;
5 – анод;
6, 7 – магнітні;
8 – електронний промінь;
9 – ванна металу;
10 – повітряне охолодження;
11 – водяне охолодження;
12 – системи діафрагм;
13 – до дифузійних насосів;
14 – проміжна камера;
15 – вакуумний затвор

Рисунок 3 Схема електронної аксіальної гармати М. Ардена

В установках з аксіальними електронними гарматами катод і анод значно віддалені від металу, що розплавляють, можна розрізнити вакуумні системи камери печі й гармати.

Гармата відділена від камери печі рядом діафрагм, крізь які в неї потрапляє лише невеликий потік газу і пару. Сама гармата звичайно має індивідуальну систему відкачки - все це є перевагами даної системи. Можна переплавляти метал з високим вмістом газу, не боячись вивітрення з металу компонентів з високою пружністю пару - хрому, марганцю та інших компонентів.

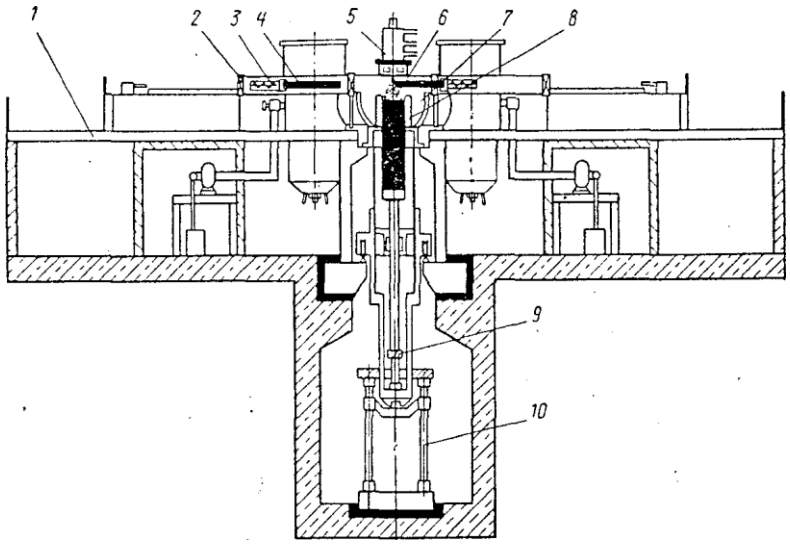
Піч системи ЕМО - 50 має триступінчасту відкачку систему і працює при тиску в плавильній камері 10^{-2} мм рт. ст.

Не дивлячись на діафрагми, пари металу все ж потрапляють в прикатодний простір, конденсуються на катоді, скорочують термін його служби. Щоб запобігти цьому, гармату розташовують під кутом до металу, що розплавляється, або до рідкої ванни так, щоб спрямування потоку випарювання не співпадало з віссю гармати. Відхиляюча система дозволяє викривити електронний пучок на будь-який кут. Це особливо зручно при використанні декількох гармат в одній потужній установці. Вживання декількох гармат дозволяє збільшити потужність печі, забезпечити рівномірний нагрів шихти і ванни металу.

Особливе значення вживання декількох гармат мас при виробництві відливок з тугоплавких металів, коли одні гармати обігрівають ванну, а інші - носок тигеля, літник чи прийомну воронку форми. В якості джерел живлення ЕПП використовують випрямувальні пристрої і напівпровідникові високовольтні випрямувачі.

Електронна плавильна установка з аксіальними гарматами складається з камери, в середині якої розташований або водохолоджуємий кристалізатор з пристроєм для витягання виливка, або мідна водоохолоджуєма чаша – тигель для плавки у гарнісажі. Розливка здійснюється нахилом чаші або проплавленням пробки і виливанням металу у форму. Камера має потужну відкачну систему.

Плавку ведуть при тиску $10^4 \div 10^5$ мм рт. ст. Кругла чи квадратна штанга, що переплавляється подається в камеру печі або зверху по вісі кристалізатора, або збоку - горизонтально. На рис. 4 зображено схему найбільшої печі ЕМО - 1200 з гарматою потужністю до 1700 кВт, в якій можна наплавляти виливки масою до 11 т.



1 – робоча плита; 2 – шибер; 3 – транспортер для подачі заготовки; 4 – заготівка; 5 – електронна гармата; 6 – електронний пучок; 7 – вакуумна плавильна камера; 8 – кристалізатор; 9 – механізм виймання виливка; 10 – пристрій для транспортування виливка

Рисунок 4 - Принципова схема установки ЕМО – 1200

Установка має два бічних шлюзи, крізь які здійснюється подача штанг масою до 1 т.

Електронний пучок має програмоване синусоїдальне відхилення по поверхні рідкої ванни.

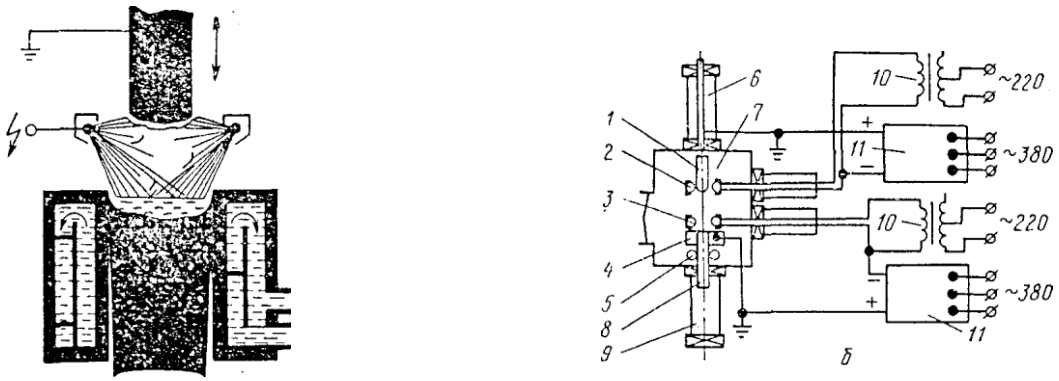
Витрати електронної енергії у цій установці 900 кВт год/т, при тризмінній роботі продуктивність печі 3000 ÷ 4000 т. на рік.

Електронні гармати з кільцевим катодом

В установках з кільцевим катодом розганяюча напруга прикладена між катодом і металом, що розплавляють, який з кільцевим катодом запропоновано на рисунку 5.

Вольфрамовий кільцевий катод розташовується в безпосередній близькості від розжареного трансформатора до 2000÷2500 ^{0}С. Звичайно катод ізольований, а штангу, що розплавляється, заземлено. Катод оточений фокусуючим екраном, спрямовуючим потік електронів на метал. Як правило, фокусуючий екран мас потенціал катода.

Переваги установок цього типу полягають у тому, що вони більш прості за конструкцією, можна робити установки великої потужності, тому що, немає обмежень по електронній оптиці, вони зручні для виплавки великих виливків.



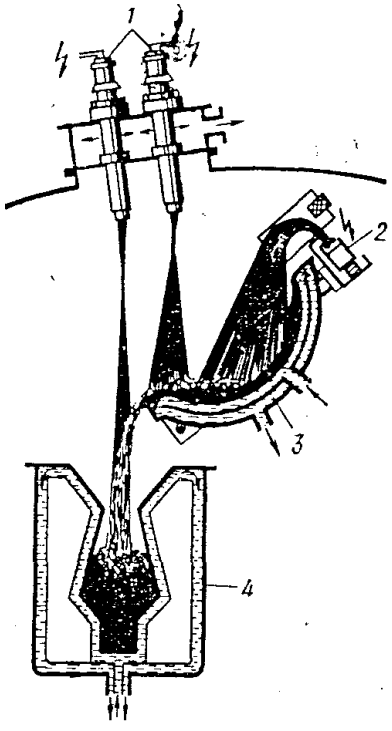
1 – штанга, що переплавляється; 2 – кільцевий катод; 3 – другий кільцевий катод; 4 – кристалізатор; 5 – механізм виймання виливка; 6 – шлюз для подачі штанги; 7 – плавильна камера; 8 – виливок; 9 – камера виливка; 10 – трансформатори розжарення катодів; 11 – джерела високої напруги.

Рисунок 5 - Схема електронно-променевої печі з одним кільцевим катодом (а) і з двома кільцевими катодами (б)

Недоліки цих установок:

• близьке розташування катода до металу, що розплавляють. Пари конденсуються на катоді, на нього потрапляють краплі металу, що призводить до швидкого псування катода. Стійкість кільцевих катодів не перевищує кількох годин, в той час як у вісьових гарматах вона сягає сотні годин;

• наявність прискорюючого поля в зоні плавки. Коли при плавленні металу виділяється велика кількість газів, підтримання низького залишкового тиску стає складним. З'являються електричні розряди. Для уникання цього явища доводиться завчасно дегазувати шихту, встановлювати потужні пристрої для відкачування.



В деяких конструкціях катоди робляться секційними, так що не вимикаючи усієї установки, можна змінювати при допомозі револьверних та інших пристроїв окремі секції катодів.

1,2 – електронно-променеві нагрівачі;
3 – тигель для плавки;
4 – форма.

Рисунок 6 - Схема електронно-променевої печі для лиття

Електронний нагрів може з успіхом використовуватись для гарнісажних печей, для лиття тугоплавких металів і сплавів. В цих печах в плавильний тигель з міді або графіту встановлюють гарнісаж, що представляє собою форму, виготовлену з литого виливку, або залишок, що утворився в печі при плавці.

В гарнісажі наплавляють деяку порцію рідкого металу, потім тигель нахиляють і виливають метал у форму. На рисунку 6 приведено схему ЕПП для виробництва лиття.

ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ

Для захисту персоналу електронно-променевих установок від рентгенівського випромінювання пристрої, що їх утворюють, огороджують спеціальними екранами.

Для попередження аварії, установки повинні бути обладнані світлозвуковою сигналізацією, що спрацьовує від підвищення температури води на виході, або тиску охолоджуючої води нижче допустимого. Устрій та експлуатація електричної частини печей здійснюється у відповідності з вимогами спеціально розроблених правил. Корпус і конструкція електропечі необхідно заземлювати.

ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВА ПІЧ В – 270

Діаметр виплавлюваних злитків не перевищує 120 мм, максимальна довжина 450 мм.

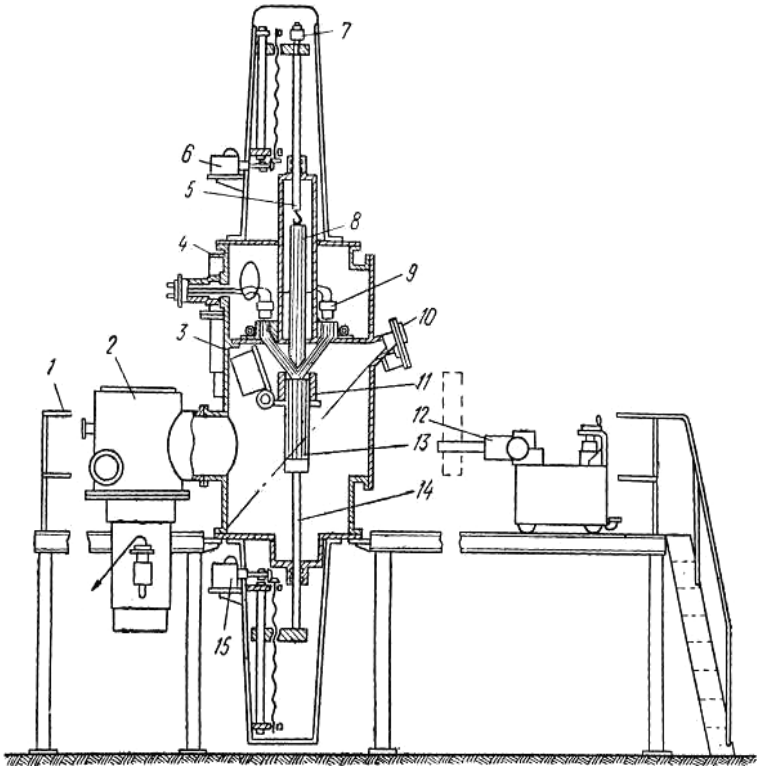
Для електронного переплаву (ЕПП) (див. Рисунок7) використовують вертикальну заготівку, закріплену на штоку, що подає. У процесі плавки заготівку опускають униз. Наявність декількох радіальних гармат забезпечує рівномірне оплавлення заготівки, а також рівномірне температурне поле в рідкому металі й сприятливі умови для рафінування.

Електронна гармата 9 (див. рисунок7) печі є вузлом, що обумовлює роботу всієї печі в цілому. Однією з умов, надійної й стабільної роботи електронної гармати ЕПП є відсутність прямого перегляду між катодом гармати й поверхнею ванни рідкого металу. Дотримання цієї умови скорочує влучення на електроди гармати бризів і пару металу з робочої камери й значно знижує число електричних пробоїв між ними.

Електронна гармата має вакуумний затвор, що дозволяє відокремлювати гармату від робочої камери печі при необхідності відкривання камери. Для безпечної експлуатації й надійної роботи

електронні пушки виготовляють повністю екранованими із закритим уведенням високої напруги. Струмовідводи потужної електронної гармати обладнують водяним охолодженням через необхідність відводити значну теплову потужність, випромінювану нагрітим до робочої температури катодом (до 1 ÷ 5 кВт). Елементи конструкції електронних гармат зазвичай виготовляють із нержавіючої сталі І0Х18Н10Т, а водоохолоджуємі деталі - з міді.

Схема електронно-оптичній системи установки В - 270 наведена на рисунку 8.



1 - площадка обслуговування;
2, 3 - вакуумні насоси;
4 - робоча камера;
5 - шток механізму подачі заготовки, що витрачається;
6 - привід механізму подачі;
7 - механізм обертання заготовки, що витрачається;
8 - заготовка, що витрачається;
9 - радіальні пушки;
10 - стробоскопічна оглядова система;
11 - кристалізатор;
12 - маніпулятор для видалення готового злитка;
13 - злиток;
14 - шток механізму витягування злитка;
15 - привід механізму витягування

Рисунок 7 - Схема електронно-променевої печі В - 270 М

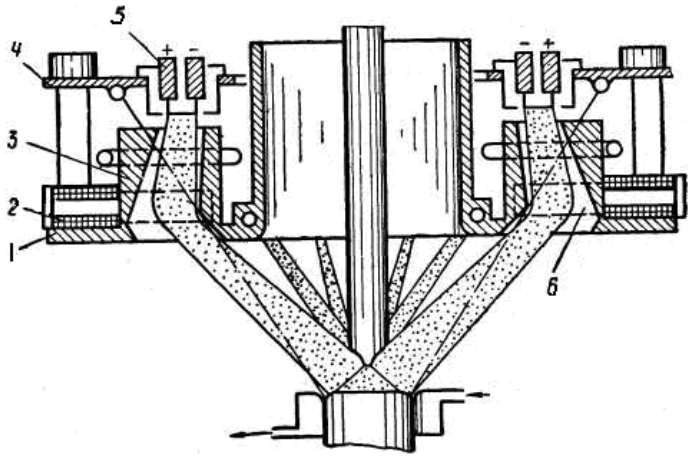
Під дією прискорювальної напруги електричного поля між катодом 5 (див. рисунок 8) і щілинним анодом 3 виникає рух електронів з визначеною швидкістю. На виході з формуючих котушок 2 і 6, електронний пучок попадає в додаткове поле, що фокусує, магнітної лінзи (на схемі не показана). Магнітна лінза розташована так, що площина нагріву перебуває на рівні її верхнього торця.

Робоча камера 4 (див. рисунок 7) має вигляд горизонтального циліндра, призначеного для вільного розміщення елементів конструкції печі й вакуумних систем. Електронні пушки встановлюють на патрубках, розташованих у верхній частині робочої камери. Для зручності чищення й обслуговування внутрішня поверхня камери повинна бути гладкою з

мінімальним числом важкодоступних місць. Як матеріал для внутрішніх порожнин камери вибирають як правило нержавіючу сталь. Робоча камера повинна бути оснащена системою водяного охолодження, здатною відвести до 50 - 60 % потужності ЕПП.

Кристалізатор 11 є самим теплонавантаженим елементом конструкції ЕПП. Особливу увагу варто приділити інтенсивності охолодження верхньої частини кристалізатору, тому що в ході плавки рівень рідкого металу підтримують поблизу верхнього торця кристалізатору (злиток, що наплавляється, витягають униз). В ЕПП основною причиною виходу з ладу кристалізатору є його проплавлення по кільцевому паску прилягання розплавленого металу, якщо охолодження стає недостатнім (при великих перегрівах металу вище температури плавлення, особливо для тугоплавких металів). Для забезпечення надійності системи охолодження кристалізаторів застосовують прокачування води через порожнини охолодження під підвищеним тиском (0,4 - 0,6 мПа), для чого встановлюють спеціальні насоси.

Кристалізатори виготовляють у вигляді внутрішньої мідної гільзи з товщиною стінки 10-16 мм, укладеної в кожух із нержавіючої сталі, що забезпечує найбільш раціональний розподіл охолоджувальної води. Кристалізатори часто розташовують усередині робочої камери печі. Якщо кристалізатор розташований у нижній частині робочої камери, можливо його видалення з-під печі разом зі злитком, що дозволяє легко здійснити механічне чищення кристалізатору після кожної плавки або, якщо буде потреба, заміну внутрішньої гільзи.



1 і 4 - нижня й верхня основи;
3 - мідні щілинні аноди;
5 - лінійні катоди (діаметром 1 мм);
2 і 6 - відхиляючі котушки й магнітопроводи системи

Рисунок 8 - Схема електронно-оптичної системи установки В - 270 з десятьма радіальними пушками

Сипучі матеріали (обрізь, стружка, гранулят і т.п.) подають у кристалізатор із лотка на торцевій кришці робочої камери.

Оглядові пристрої повинні забезпечувати гарний огляд робочої зони печі. У зв'язку з тим що ЕПП працюють при залишкових тисках не вище 0,05 ÷ 0,1 Па, запилення стекол оглядових пристроїв парами металу дуже велике. Доводиться вживати заходів для додаткового їхнього захисту.

Найпоширенішим способом захисту скла служить поворотний диск зі стеклами, які ставлять на шляху між робочою камерою й поверхнею оглядового вікна. У міру потемніння захисного скла диск повертають, заміняючи брудне скло чистим. Це дозволяє подовжити термін служби оглядового скла в стільки разів, скільки допоміжних стекол укріплено на поворотному диску.

Для збільшення терміну служби оглядових стекол застосовують також обтюраторні (стробоскопічні) пристрої, у яких стекло оглядового вікна закривають заслінкою, що швидко обертається, з вузькою щілиною. При обертанні заслінки щілина послідовно проходить по всій робочій поверхні, дозволяючи використовувати всю площу оглядового вікна для спостереження за процесом. У ряді випадків, коли безпосереднє спостереження через оглядові вікна неможливо, для спостереження використовують перископічні системи або телевізійні пристрої, об'єктиви яких установлюють в оглядового вікна, а окуляр, або екран виносять у зону, зручну й безпечну для спостереження.

Вакуумна система. Вакуумні системи ЕПП є надпотужними й складними серед систем вакуумних електропечей.

Діапазон робочих тисків обумовлюється технологічними й енергетичними параметрами ЕПП, а також ступенем розвитку вакуумної техніки й складає $10^{-1} \div 10^{-3}$ Па.

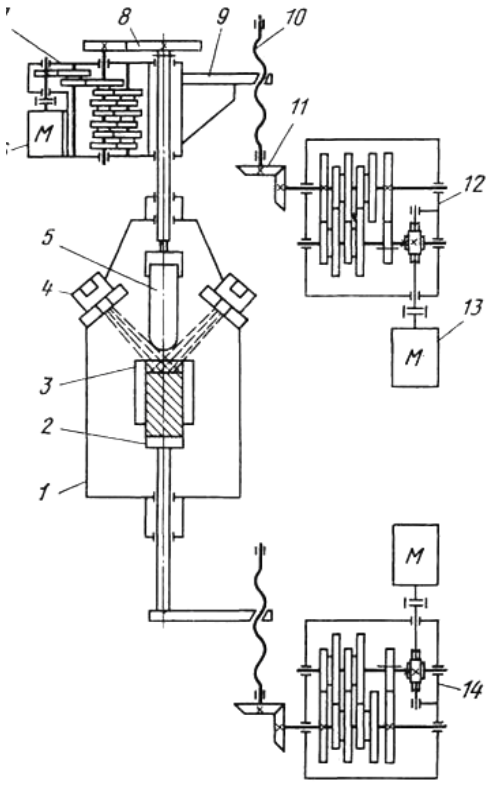
Тому у вакуумних системах ЕПУ застосовують високо вакуумні паромасляні дифузійні й бустерні паромасляні насоси, які приєднують до печі послідовно або паралельно (при необхідності швидкої ліквідації пікових газовиділень переважніше схема послідовного з'єднання: високо вакуумний насос - бустерний насос).

Механізм витяжки злитка 15 (див. рисунок 7) розташовують під робочою камерою. Водоохолоджуємий шток 14 рухливого піддона кристалізатору виходить через вакуумне ущільнення під піч, де з'єднується з механізмом.

Злиток витягають у водоохолоджуєму «холодильну» камеру, шлюзують вакуумним затвором і викочують з-під печі. Швидкість витяжки залежить від масової швидкості наплавлення рідкого метала і його кристалізації складає 20 ÷ 100 мм/хв.

Кінематичні схеми ***механізмів витяжки злитка***, ***переміщення й обертання електрода, що*** витрачає, наведені на рисунку 9.

Механізм переміщення електрода складається з електродвигуна 13 (**N** = 0,23 кВт ***n*** =2500 об/хв.), комбінованого черв’ячно-циліндричного редуктора 12, конічної передачі 11 і гвинтової пари з гайкою, що рухається, поступально вмонтованою в каретку 9.



1 - вакуумна камера;

2 - шток механізму витягування злитка;

3 - водоохолоджуємий кристалізатор;

4 - радіальна електронна гармата;

5 - електрод, що витрачається;

6 – електродвигун

7 - редуктор

8 - відкрита передача механізму обертання електрода, що витрачається;

9 - каретка;

10 - гвинтова пара

11 - конічна передача

12 - черв'ячно-циліндричний редуктор

13 - електродвигун механізму переміщення електроду, що витрачається;

14 - механізм витягування злитка електронно-променевої печі В-270М.

Рисунок 9 - Принциповий пристрій і кінематична схема механізмів електронно-променевої печі В-270М

Робочу й маршову швидкості отримують переключенням шестірні на змінній шпонці.

Механізм витягування злитка із кристалізатору аналогічний розглянутому.

У ***механізм обертання електрода*** входять електродвигун 6 (**N** = 0,115 кВт; ***n*** = 3600 об/хв.), восьмиступінчатий циліндричний редуктор 7 і відкрита передача 8, колесо якої посаджене на шток електродотримача.

У механізмах переміщення електрода й витягування злитка, обладнаних електроприводами, крім розглянутих двошвидкісних багатоступінчастих редукторів співвісного типу, застосовують двошвидкісні редуктори з конічними й циліндричними диференціалами, а також приводи з керованими електромагнітними муфтами. Ряд вітчизняних і зарубіжних печей виконаний із гідравлічними механізмами переміщення електрода й витягування злитка.

Технічні характеристики електронно-променевих печей наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Технічна характеристика ЕПП із радіальними пушками

Параметри	Тип			
	У-143	У-270	У-270М	У-254
Потужність печі, кВт .	120	150	150	500
Прискорювальна напруга, кВ.	13 ÷15	13,5	13,5	14 ÷17
Величина анодного струму, А	0,8	1,1	1,1	3,3
Число гармат	4	10	10	10 (або 4)
Діаметр кристалізатору (максимальний), мм	150	120	200	380
Довжина злитка (максимальна), м	0,5	0,45	1,0	1,3
Витрата охолодної води, $м^3$/год.	8	8	12	30
Габарити печі:				
- площа, $м^2$	12	25	30	81
- висота, м	3,6	3,7	5,9	9,5

ЛІТЕРАТУРА

1. Электрометаллургия стали и ферросплавов, Д.Я.Поволоцкий, В.К.Рощин, М.А.Рысс и др.; под ред. Д.Я.Поволоцкого. М.: Металлургия, 1984-568с.
2. Егоров А.В. Электроплавильные печи чёрной металлургии. М.: Металлургия, 1985-280с.
3. Электрические промышленные печи. Ч.2. Дуговые печи и установление специального нагрева. А.Д.Свечанский, И.Т.Жердев, А.М.Кручинин и др.; под ред. А.Д.Свечанского.-М.: Энергия, 1981-296с.
4. Крамаров А.Д., Соколов А.Н. Электрометаллургия стали и ферросплавов.-М.: Металлургия, 1976-376с.
5. Электротермическое оборудование: Справочник, А.П.Альтгаузен, Н.М.Некрасова, М.В.Гутман и др.; под ред. А.П.Альтгаузена.-М.: Энергия, 1980-416с.
6. Канцевич Л.С. Рачсёт и конструирование электрических печей.-М.-Л.: Госэнергоздат, 1969-440с.
7. Промышленные установки электродугового нагрева и их параметры. Л.Е.Никольский, Н.И.Бортничук, Л.А.Волохонский и др.; под ред. Л.Е.Никольского.-М.: Энергия, 1971-272с.