



ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЯ — галузь прикладної науки і техніки (технології), що вивчає фізико-хімічні процеси й електричні явища під час первинного виробництва металів із руд (концентратів), а також виплавлення сталі, феросплавів, кольорових металів та їх сплавів у металургійних агрегатах (печах), у яких електрична потужність перетворюється на технологічну теплову. Е. розвивається на основі новіт. досягнень у галузі фіз. хімії, теорії металург. процесів, фізики, електротехніки, пром. електроніки, вакуум. техніки і технології автоматизації та механізації технол. процесів.

У Е. найчастіше застосовують дуговий (плазмово-дуговий), індукцій., опору та електронно-променевий методи перетворення електрич. потужності в теплову. Електрична дуга постій. чи змін. струму є одним із видів електрич. розряду, що відбувається при наявності відповід. напруги між електродами (твердими чи рідкими), які розділені іонизов. газовим середовищем. Нагрівання методом опору базується на властивостях твердих (рідких) провідників струму у перетворенні електрич. енергії в теплову. Індукцій. метод нагрівання (плавлення) полягає в тому, що внаслідок електромагніт. індукції в електропровід. матеріалі, попередньо розміщеному в змін. магніт. полі, виникає електрорушійна сила, яка обумовлює появу струму. Принцип електронно-променевого нагрівання (плавлення) металів, сталі, сплавів базується на передачі енергії потоку електронів, який генерується електрон. гарматою, об'єкту, що нагрівається. Потужність пучка електронів поглинається тонким поверхневим шаром металу, а передача тепла осн. масі металу зумовлюється теплопровідністю або конвекцією. При класифікації електрометалург. процесів прийнято виходити з технол. принципу, оскільки сутність того чи ін. процесу зберігається при будь-якому методі перетворення електрич. енергії в теплову.

Одними з ключових складових сталеплавил. виробництва є феросплави (сплави, як правило, бінарні, різних металів, рідше неметалів — кремнію, фосфору та ін., з залізом на основі бл. 15 елементів). Елементи, які входять до складу того чи ін. феросплаву, мають більшу хім. спорідненість з киснем і тому деякі з них (Mn, Si, Al, Ca) використовують для розкиснення сталі. Практично усі складові елементи феросплавів здебільшого застосовують у сталеплавил. виробництві для легування, тобто підвищення мех. властивостей, корозій. стійкості та ін. спец. властивостей сталі різноманіт. груп і марок. За підвищенням хім. спорідненості до кисню елементи феросплавів розміщуються в ряд (при 1600 °C) Cu, Ni, Co, W, P, Cr, Mn, V, Nb, Si, Ti, B, Al, Zr, Mg, Ca. Фіз.-хім. сутність процесів отримання феросплавів полягає у від-

новленні металів з їх оксидів ін. елементами (як правило, C, Si, Al), які при відповідній т-рі мають більшу хім. спорідненість з киснем, ніж елемент, що відновлюється. Залежно від елемента (металу), який застосовують, відновні процеси отримання феросплавів поділяють на вугле-, силіко- та алюмінотермічні. Відновлення металів з їх оксидів за допомогою вуглецю супроводжується поглинанням тепла ($2/y\text{Me}_x\text{O}_y + (2 + 2x/z)\text{C} = 2x/yz\text{Me}_2\text{C}_y + 2\text{CO} - Q$). Отримання ж феросплавів у ході силіко- та алюмінотерм. процесів відбувається за екзотерм. реакціями ($2/y\text{Me}_x\text{O}_y + \text{Si} = 2x/y\text{Me} + \text{SiO}_2 + Q_{\text{Si}}$ та $2/y\text{Me}_x\text{O}_y + 4/3\text{Al} = 2x/y\text{Me} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3 + Q_{\text{Al}}$). Вироб-во феросплавів, а не чистих металів, для сталеплавил. промисловості має низку переваг: розширюється мінерально-сировинна база дефіцит. і дорогих металів (розкислювал. і легувал.), зменшуються матеріал. та енергет. затрати на підготовку руди (концентратів) до відновлювал. електроплавлення, зменшуються втрати цінних металів під час збагачення руд та електрометалург. переділу концентратів з отриманням феросплавів. Використання саме феросплавів, а не чистих металів, при розкисненні та легуванні сталі підвищує засвоєння металів рідкою сталлю. Світ. виробництво феросплавів корелює з розвитком виплавлення сталі, яке значно зросло 2000–07. Зокрема 2000 у світі виплавлено 830,2, в Україні — 31,8, 2005 — відповідно 1139,6 і 38,6, 2007 — 1328,82 і 40,9 млн т сталі.

В Україні пром-сть з виробництва феросплавів має експорт. характер. Здебільшого виплавляються марганцеві феросплави, феросиліцій та феронікель. Найпотужніші підприємства: *Нікопольський* (Дніпроп. обл.), *Запорізький*, *Стахановський заводи феросплавів* (Луган. обл.) і *Побузький феронікелевий комбінат* (Голованів. р-н Кіровогр. обл.). Сумарна потужність печей (пічних трансформаторів) на феросплав. заводах України становить 1887 МВ·А (РФ — 1030 МВ·А, Казахстану — 1444 МВ·А). Феросплавна пром-сть України має значні мінерально-сировинні ресурси марганцю, кремнію, титану, цирконію, нікелю. Однак відсутня розробка родовищ дефіцит. і дорогих металів (руд), які вкрай необхідні для виплавлення високолегов. сталі та сплавів металів Cr, Mo, W, V, B та ін. Нестачу сталеплавил. промисловості у цих металах компенсують імпортом відповід. феросплавів.

Базовими технологіями виробництва сталі у світі є киснево-конвертер. (60 % від заг. кількості отримуваної сталі) та електросталеплавил. процеси. В Україні у кисневих конвертерах виплавляють 53 % сталі, в електрич. печах — 4 %, мартенів. печах — 43 %. За оцінками низки організацій, які прогнозують розвиток

методів і об'ємів виплавлення сталі, інтегров. металург. комбінати (заводи) великої вироб. потужності за схемою «доменна піч-кисневий конвертер-безперервне розливання-прокат сталі» вийшли за об'ємом на надлишок. При киснево-конвертер. процесі виплавлення сталі можна використовувати 20–25 % стал. брухту, тоді як електро-сталеплавил. виробництво орієнтоване на перероблення 100 % метал. брухту, а також металізов. котунів (т. зв. продукту прямого одержання заліза без домен. процесу). За прогнозами, у подальшому заг. кількість скрапу в чорній металургії складатиме бл. 45 % об'єму виробництва нерафін. сталі, хоча нині частка скрапу в металопрокаті становить бл. 60 %. Пріорит. напрямками подальшого розвитку електросталеплавил. виробництва є збільшення місткості стальної ванни до 150–180 т, питомої потужності дугових печей до 1000 кВт на 1 т сталі, підвищення продуктивності печей за рахунок зменшення тривалості плавлення, застосування паливно-кисневих пальників, оброблення сталі в установках електропідігріву з дуговим підігрівом, вакуумування, неперерв. розливу, використання тепла газу дугових печей. Осн. процесом електросталь в Україні виробляють на «ІСТІЛ» Міні-металургійному заводі (Донецьк) та [«Дніпроспецсталь» Електрометалургійному заводі ім. А. Кузьміна](#) (Запоріжжя), а також у невеликій кількості — у ливар. і ремонт. цехах металург. комбінатів і маш.-буд. заводів. Будується електрометалург. завод «Дніпросталь» (Дніпропетровськ), проектується будівництво електросталеплавил. заводу «Ворскласталь» (Полтав. обл.). Кислим процесом електросталь отримують у печах для лиття невеликої потужності. Інж.-тех. і наук. фахівців феросплав. та електросталеплавил. промисловості традиційно готують *Металургійна академія України Національна*, [Донецький національний технічний університет](#), [«Київський політехнічний інститут» Національний технічний університет України](#) та ін.

У 2-й пол. 20 ст. сформувалася окрема галузь електрометалург. виробництва — спец. Е., основне призначення якої — забезпечувати низку галузей промисловості та нові галузі техніки високоякіс. сталями і сплавами, які не можна отримати традиц. способами виплавлення у дугових і відкритих індукц. печах. Основою спец. Е. є процеси вторин., рафінуючого переплаву сталі та сплавів, отриманих традиц. технологіями. До неї відносять електрошлак. та вакуумно-дуговий переплав, електронно-променеве плавлення. Метод електрошлак. переплаву розроблений 1952–53 в [Електрозварювання Інституті ім. Є. Патона НАНУ](#). При застосуванні електрошлак. переплаву під дією тепла, що виділяється у синтет. шлаці (системи $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaF}_2$, $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaF}_2$ та ін.), оплавляється занурений робочий кінець електрода (відливок, прокатні та ковані вироби). Рафінування ж металу від сірки (зменшується вміст у 2–3 рази), кисню (1,5–2,5 рази), неметал. включень (практично повністю видаляються) від-

бувається у пливці рідкого металу на робочому кінці електрода, при проходженні каплі через шлак, а також на міжфаз. межі рідкого металу в кристалізаторі і синтет. шлаку. Хім. і структурна однорідність, високі фіз.-металічні та ін. властивості дають змогу використовувати вироби електрошлак. переплаву у машинобудуванні та техніці. За допомогою вакуумно-дугового переплаву отримують високоякісні злитки високооктан. (Ti, V, Zr) та тугоплавких (W, Mo, Nb) металів, а також сплавів на їх основі. Його здійснюють у водоохолоджувал. кристалізаторі з витрат. електродами у дугових вакуум. печах при стабіл. електрич. режимі (не допустимими є перекидання дуги на стінки кристалізатора, короткі замикання між електродами, що переплавляється, і ванною рідкого металу, що формується). Через відносно неякісну поверхню злитків вакуумно-дугового переплаву перед куванням чи прокатуванням їх повністю обточують на токар. верстатах на глиб. до 10 мм. Електронно-променеве плавлення призначене для отримання металів, високолегов. сталі і сплавів високої якості та надійності. Для нього характерні висока швидкість плавлення металу внаслідок можливості регулювання електрич. потужності та майже повне видалення розчинених у металі газів (водню, азоту), неметал. включень за допомогою вакууму. Метал електронно-променевого плавлення має вдвічі більші показники опору крихкого руйнування у порівнянні з металом звичай. плавлення. Вакуумно-індукційне плавлення найповніше реалізується при безшлак. процесі в індукцій. печах і вирізняється віднос. простотою. Ним сплавляють у вакуумі чисті за вмістом фосфор і сірку вихід. металозавалювання, що складається із залізовміс. і легувал. компонентів, розкиснювачів.

Теорію і технологію отримання кольор. матеріалів і сплавів у металург. агрегатах з використанням електрич. енергії вивчає галузь приклад. науки і техніки — Е. кольор. металів і сплавів. Вона охоплює значну кількість технологій первин. виробництва кольор. металів із руд (концентратів) різними способами, рафінування металів і сплавів, а також перероблення вторин. кольор. металів і сплавів у електропечах. До неї відносять розроблення теорії та технології отримання тех. глинозему з бокситів способами Байєра та спікання (*Миколаївський глиноземний завод, цех глинозему Запорізького виробничого алюмінієвого комбінату*).

Класифікація процесів і технологій, що застосовуються у кольор. металургії, нині повністю не розроблена. Деякі технол. процеси і теор. положення розглядають як складові елементи електрохімії. Вчені-хіміки Е. кольор. металів поділяють на екстракцію, електроліт. рафінування та електроліз. Електроекстракція забезпечує електроліз розчинності металу з метою його вилучення і використовується для отримання чистих Cu, Mn, Cr, Co та ін. Електроліт. рафінування застосовують для очищення металів, отриманих шляхом

хім. відновлення руд і концентратів у печах різної конструкції. Процес електрорафінування включає анодне розчинення забрудненого та одночасне осадження на катоді чистого (рафінованого) металу. Нерозчинні у воді домішки осідають на дно електрохім. ванни у вигляді шламу. Третя група електрометалург. процесів пов'язана з електролізом розплавлених солей. Цим методом отримують Al, Li, Na, K, Rb, Ca, Sr, Ba, порошки тугоплавких металів W, Mo, V, Ti, Zr, Ta, Nb, а також чисті метали Be, Th, U. З розвитком Е. кольор. металів з'явилися нові напрями сучас. Е. (електрохімії): вчення про будову електролітів та їх електропровідність; вчення про електрохім. рівновагу на межі між електродом і розчином; вчення про швидкість (кінетику) електрохім. реакцій.

Прикладна електрохімія, беручи за основу досягнення теор. електрохімії, розробляє наук. базу технології електротерм. вироб.-в. Типове електрометалург. виробництво кольор. металів і сплавів в Україні представлено на [Запорізькому титаномagneзному комбінаті](#) (виготовлення титан. губки відновленням TiCl_4 магнезієм), Запоріз. вироб. алюмінієвому комбінаті (виготовлення алюмінію електролізом глиноземно-криоліт. розплавів і кремнієво-алюмінієвих електротерм. сплавів), [Артемівському заводу з обробки кольорових металів](#) (плавлення кольор. металів). Найбільшим збагачувал. підприємством у галузі кольор. металургії є Вільногір. гірн.-металург. комбінат (Дніпроп. обл.; видобування поліметал. руд і отримання титан. TiO_2 , $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ і циркон. $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ концентратів). Результати теор. і експеримент. дослідж., пром. досвід отримання феросплавів, сталі, кольор. металів і сплавів у ході електрометалург. процесів систематично публікуються в академ., галуз. наук.-тех. журналах, зокрема укр. — «Современная электрометаллургия», «Металлургическая и горнорудная промышленность», рос. — «Электрометаллургия», «Сталь», «Цветная металлургия».

Рекомендована література

1. Баймаков Ю. В., Жулин А. И. Электролиз в гидрометаллургии. Москва, 1963;
2. Шульте Ю. А. Электрометаллургия литья. Москва, 1970;
3. Медовар Б. И., Латаш Ю. В., Максимович Б. И., Ступак Л. М. Электрошлаковый переплав. Москва, 1973;
4. Гасик Л. Н., Игнатьев В. С., Гасик М. И. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур. К., 1975;
5. Линчевский Б. В. Вакуумная индукционная плавка. Москва, 1975;
6. Григорян В. А., Белянчиков Л. Н., Стомахин А. Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. Москва, 1979;
7. Чуйко Н. М., Чуйко А. Н. Теория и технология электроплавки стали. К., 1983;
8. Гармата В. А., Петрунько А. Н. и др. Титан. Москва, 1983;
9. Ключев М. М., Волков С. Е. Электрошлаковый переплав. Москва, 1984;
10. Поволоцкий Д. Я., Гудин Ю. А., Зиннуров И. Ю. Устройство и работа сверхмощных дуговых сталеплавильных печей. Москва, 1990;
11. Величко Б. Ф., Гаврилов В. А., Гасик М. И., Грищенко С. Г., Коваль А. В., Овчарук А. Н. Металлургия марганца Украины. К., 1990;
12. Гасик М. И. Марганец. Москва, 1992;
13. Беляев А. И., Рапопорт М. Б., Фирсова Л. А. Электрометаллургия алюминия. Москва, 1993;
14. Поволоцкий Д. Я., Рошин В. Е., Мальков Н. В. Электрометаллургия стали и ферросплавов. Москва, 1995;
15. Лякишев Н. П., Гасик М. И. Металлургия хрома. Москва, 1999;
16. Зубов В. Л., Гасик М. И. Электрометаллургия ферросилиция. Дн., 2002;
17. Плавильні агрегати спеціальної електрометалургії: Атлас. Ч. 1. Электрошлакові дугові та індукційні вакуумні печі. К., 2002;
18. Гладких В. А., Гасик М. И., Овчарук А. Н., Проїдак Ю. С. Проектирование и оборудование электросталеплавильных ферросплавных цехов. Дн., 2004;
19. Гладких В. А., Гасик М. И., Овчарук А. Н., Проїдак Ю. С. Ферросплавные электропечи. Дн., 2007;
20. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Патон В. Е. Новый способ электрической отливки слитков // Патон Б. Е. Избранные труды. К., 2008;
21. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Анохин С. В. Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высокорреакционных металлов. К., 2008;
22. Гасик М. И., Лякишев Н. П. Фізикохімія і технологія електроферосплавів. Дн., 2008;
23. Соїфер В. М. Выплавка стали в кислых электропечах. Москва, 2009;
24. Поляков О. И., Гасик М. И. Электрометаллургия феросплавів, спеціальних сталей і сплавів. Дн., 2009.

М. І. Гасик

Бібліографічний опис:

Електрометалургія / М. І. Гасик // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. — К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2009. — Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-17753>

2001-2025 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України ([докладніше](#)).