

Лекція 7. Важливі закономірності найбільш загальних технологічних процесів

Термічні процеси

З давніх-давен для отримання деяких видів продукції сировину нагрівали або охолоджували. Наприклад, для виготовлення сталі залізну руду і вапняк нагрівали.

Термічними називають технологічні процеси, в яких основним фактором є теплота.

Термічні процеси лежать в основі виробництва чавуну, сталі, більшості кольорових металів, різних видів штучного палива, мінеральних добрив, цементу, керамічних виробів, деяких кислот і т.п. Щоб отримати ці види продукції, сировину нагрівають. До термічних процесів належать термічна та хіміко-термічна обробка конструкційних матеріалів (металів, сплавів та ін.). В процесі нагрівання і охолодження конструкційних матеріалів при таких видах обробки змінюються структура, хімічний склад, а разом з ними і властивості: матеріали стають пластичними, твердими, міцними або корозійностійкими. Поліпшуються їхні технологічні властивості.

Тривалий час теплота була єдиним двигуном технологічного процесу, а нагрів вихідних матеріалів до високих температур – єдиним шляхом отримання деяких видів продукції і поліпшення її властивостей. З розвитком науки і техніки з'явилися нові двигуни технологічних процесів: каталізатор, ультразвук, плазма, тиск і т.д. Їхнє використання поліщило техніко-економічні показники обладнання, зменшило енергоємність продукції, підвищило її якість.

Процеси, в яких теплота є допоміжним чинником, до термічних не належать. Наприклад, при каталітичному крекінгу нафтопродуктів основним двигуном процесу є каталізатор, хоча сировину нагрівають. В процесі виробництва аміаку основними двигунами процесу є тиск і каталізатор, а теплота є допоміжним двигуном.

Термічні процеси займають провідне місце у виробництві основних видів промислової продукції. Більшість термічних процесів відбувається при температурах, які перевищують 1000 °С. До них належать виробництво чавуну, сталі, деяких кольорових металів, цементу, керамічних виробів, коксу, глинозему і т.п. Інші види продукції отримують при значно нижчих температурах.

Хоча підвищення температури позитивно впливає на хід технологічних процесів, на практиці застосування високих температур для інтенсифікації процесів часто обмежене. Це обумовлено тим, що в багатьох випадках підвищення температури, по-перше, прискорює побічні реакції, внаслідок яких утворюється побічна продукція, погіршується якість основної продукції і зменшується продуктивність обладнання; по-друге, призводить до виведення речовин які реагують із зони реакції, випаровуючи, спікаючи або сплавляючи їх; по-третє, виводить з ладу обладнання, оскільки найважливішими конструкційними матеріалами, з яких виготовляють

обладнання, є метали і сплави на їхній основі, які витримують нагрівання лише до температури 1000 °С. Кераміка витримує вищі температури. Пошуки нових конструкційних матеріалів, які витримують високі температури, обмежуються енергетичними затратами і віддачею теплоти в навколишнє середовище. Чи раціонально це? Очевидно, ні. Тому термічні процеси необхідно проводити лише при економічно раціональних температурах, які вибирають з урахуванням мінімального спрацювання устаткування; вартості конструкційних матеріалів; витрат палива або енергії; тепловитрат і т.п. Крім того, термічні процеси мають велику частину ручної праці на допоміжних операціях в гарячих цехах. Їх важко механізувати і автоматизувати.

Удосконалення термічних процесів йде декількома шляхами.

1. Заміна низькопродуктивного обладнання на високопродуктивне. Наприклад, в сталеварінні замінюють низькопродуктивні мартенівські однованні печі на двохванні або кисневі конвертери; розлив сталі в виливниці замінюють на безперервне лиття. Внаслідок впровадження цих заходів підвищується продуктивність обладнання (агрегатів) і зменшується собівартість продукції. У кольоровій металургії і виробництві сірчаної кислоти багатоподові печі для відпалу концентрату сульфідних руд замінюють на печі з псевдокиплячим шаром, які майже в 10 разів продуктивніше; крім того, в викидних газах зростає концентрація SO₂ з 9 до 15 %. Внаслідок кращого вигорання сірки повніше, економічніше використовується сировина, поліпшується якість продукції.

2. Заміна застарілих процесів на нові, прогресивні. Наприклад, виробництво сталі з чавуну, яке вимагає великої кількості палива (коксу, природного газу, води і т.д.) замінюють на виробництво сталі з металізованих грудок (бездоменне виробництво сталі), для виготовлення яких використовують низькокалорійне паливо. Температура, при якій отримують металізовані грудки, значно нижче, ніж чавуна.

3. Створення екологічно чистих безвідходних енерго- і ресурсозберігальних виробництв. Наприклад, виробництво чавуну: металургійні шлаки починають переробляти на фосфорні добрива для сільського господарства, шлаковату, шлакоцемент, щебінь, пемзу для будівельної індустрії; теплоту доменного газу використовують для підігріву повітря, сировини та допоміжних матеріалів; гарячу воду використовують для побутових потреб; надлишок тиску доменного газу – для виробництва електричної енергії, якою забезпечують доменний цех; колосниковий пил використовують в процесі агломерації руди і повертають в доменну піч у вигляді грудок або офлюсованого агломерату.

Створення безвідходних, енерго- і ресурсозберігальних технологій являється необхідною умовою модернізації та вдосконалення термічних процесів.

Вплив тиску на хід технологічних процесів

Тиск є важливим двигуном технологічних процесів. Його використовують в ході видобутку корисних копалин і передачі їх до місця

переробки; зміни форми і розмірів вихідних матеріалів, заготовок (куванням, вальцюванням, штампуванням і т.п.); для регулювання рівноваги хіміко-технологічних процесів та ін. В технологічному процесі тиск може відігравати основну або допоміжну роль в його інтенсифікації. Так, в процесі виробництва стиролу, аміаку, надтвердих матеріалів тиск є основним двигуном інтенсифікації технологічного процесу. Термічний і каталітичний крекінг нафтопродуктів є прикладом використання тиску як допоміжного чинника технологічних процесів.

В технології використовують як низький, так і високий тиск.

Низький тиск (нижче атмосферного) називають вакуумом. Він лежить в основі напилення тонких плівок (в процесі виробництва напівпровідникових інтегральних мікросхем та ін.), в процесі виробництва надчистих матеріалів і продуктів харчування, під час поділу мазуту на фракції. Вакуумуванням очищають розплавлені метали та сплави від розчинених в них газів (кисню, азоту, водню), неметалевих включень і летючих елементів (свинцю, олова, вісмуту та ін.) і підвищують щільність виливків, отриманих литтям. Низький тиск використовують також на будівництві під час бетонування. Вакуумування бетону підвищує міцність його приповерхневих шарів на 20-40%, морозо- та зносостійкість, а також скорочує час від бетонування до експлуатації виробів, який при звичайних умовах становить до 28 діб.

Високий тиск використовують для перетворення газових, рідких і твердих вихідних матеріалів в готову продукцію. Стислі гази займають менший об'єм, внаслідок чого збільшується їхня концентрація. Швидкість хімічних реакцій пропорційна концентрації речовин які реагують. Отже, використання високого тиску прискорює перетворення газових вихідних матеріалів на продукцію, наприклад азотоводневої суміші на аміак, оксиду вуглецю і водню – на метанол. Для газових реакцій, при яких число молекул отриманої продукції перевищує число молекул реагуючих речовин, збільшувати тиск недоцільно. Якщо ж реакція відбувається зі зменшенням числа молекул продукції, то підвищити тиск бажано, оскільки це зміщує рівновагу в бік отримання продукції. Наприклад, синтез аміаку з азоту і водню

Збільшувати тиск понад 32 МПа економічно не вигідно, оскільки витрати енергії на створення тиску зростають швидше, ніж приріст продукції (аміаку). В процесі виробництва аміаку вибір тиску обумовлений витратами енергії на його створення, часом, температурою, високими вимогами до устаткування і т.п. В разі зниження тиску вимоги до обладнання послаблюються, проте розміри його збільшуються, одночасно зменшуються витрати енергії на стиснення газової суміші, але збільшуються витрати енергії на циркуляцію газу і виділення аміаку, підвищуються вимоги до чистоти азотоводневої суміші.

Для проходження процесу в рідкій фазі використовують високі тиски. Наприклад, гідратація етилену з метою отримання етилового спирту. Цей процес відбувається з виділенням теплоти, відповідно його виконують при невисоких температурах. У реакторі підтримують тиск приблизно 7...8 МПа. Підвищення тиску зрушує рівновагу вправо в напрямку утворення етилового спирту:

Високий тиск використовують також в процесі полімеризації етилену для отримання поліетилену високого тиску:

Вже при тиску 200 МПа і температурі 200 °С щільність газового етилену наближається до щільності рідини. У промисловості для виробництва поліетилену використовують тиск 300 МПа. Поліетилен, отриманий при таких умовах, має високу щільність. Високий тиск використовують ще при просочуванні виробів з пористих матеріалів рідинами. Для цього використовують тиск до 3000 МПа. Час просочення скорочується з декількох діб до 10...30 с. Таким способом обробляють дерев'яні вироби (шпали для залізниці, заготовки для меблів, кріплення для копалень і т.п.) синтетичними смолами, лаками, антисептиками і ін. При цьому скорочується час, а разом з ним і енергетичні витрати на висушування. Високий тиск використовують при знезараженні води хлором, насиченні води киснем та іншими газами. І, навпаки, для вилучення газів з рідин або розплавів використовують вакуум. Очищення речовин від газів і парів при низьких температурах у вакуумі дає можливість отримати надчисті хімічні речовини, електротехнічні та напівпровідникові матеріали, фармацевтичні препарати, а також очистити поверхні від адсорбованих газів, що дуже важливо, наприклад, в процесі виробництва напівпровідникових інтегральних мікросхем.

Тверді тіла менше стискаються, ніж гази або рідини. Саме тому для процесів, які відбуваються у вихідних матеріалах, що знаходяться в твердому стані, використовують надвисокий тиск (приблизно 10000...25000 МПа). При таких високих тисках відбувається перебудова електронних оболонок атомів, їхня деформація і зрушення фазової рівноваги. Внаслідок цього утворюються нові хімічні зв'язки, які мають велику міцність. Цей принцип лежить в основі створення нових матеріалів з необхідними властивостями. До таких матеріалів належать ельбор, боразон, штучні алмази тощо. У Київському інституті надтвердих матеріалів розроблена і впроваджена у виробництво технологія отримання штучних алмазів. Якщо тиск дорівнює приблизно 10000 МПа, а температура 2400 °С, в спеціальному реакторі графіт перетворюється на алмаз внаслідок перегрупування атомів вуглецю в кристалічній решітці. З суміші сполук, яка містить бор і азот, при тиску

80000 МПа і температурі 1800 °С отримують кубічний нітрид бору. Це надтвердий матеріал, якого немає в природі. З нього виготовляють різальну частину інструментів. По твердості він не поступається алмазу, але має вищу теплостійкість. Отже, інструменти, виготовлені з нього, будуть працювати при нагріванні до високих температур.

Високий тиск використовують для створення безвідходних, енергозберігальних та екологічно чистих виробництв. Прикладом такого виробництва є технологія отримання сірчаної кислоти. В окремих реакторах тиск становить 1,5...2 МПа. Проте, слід пам'ятати, що тиск дорогий і не завжди економічно вигідний фактор прискорення технологічного процесу. Він вимагає товстостінного високоміцного обладнання, високих енергетичних витрат. Тому ведуть пошуки заміни технологічних процесів, які використовують високий або низький тиск, на інші економічно вигідні процеси.

Каталітичні процеси

Поняття про каталіз і його види

Каталізом називають зміну швидкості хімічних реакцій у присутності речовин, які не взаємодіють з сировиною.

Речовини, які змінюють швидкість хімічних реакцій, а самі (хімічно і кількісно) залишаються незмінними, називають **каталізаторами**.

У наш час каталітичні процеси становлять основу хімічної технології. Близько 90% нових підприємств хімічної промисловості ґрунтуються на використанні каталізаторів. При використанні каталізаторів швидкість хімічних реакцій збільшується в тисячі і навіть мільйони разів. Каталітичні процеси лежать в основі виробництва водню, аміаку, сірчаної та азотної кислот, мономерів, необхідних для синтезу полімерів, органічних кислот, спиртів, альдегідів і т.п. Каталіз широко використовують в процесі виробництва лікарських речовин, миючих засобів. Він служить основою нафтохімічного синтезу. На основі каталізу створені перспективні способи виробництва рідкого палива з вугілля, сланців, торфу. Каталіз широко застосовують в харчовій промисловості.

Все ширше використовують каталіз для охорони навколишнього середовища від забруднення стічними водами, шкідливими промисловими газами. У більшості це процеси безперервні, замкнуті, безвідходні, малоенергоємні, високопродуктивні. Каталітичні процеси широко застосовуються в різних галузях промисловості і по техніко-економічним показниками не мають собі рівних. Свій початок вони беруть з 1835 р, коли одночасно Берцеліус і Мітчерліх почали науку про каталіз, хоча в живій природі він існує завжди.

Каталіз – явище своєрідне: **для кожного хімічного процесу використовують свій каталізатор**. Роль каталізаторів виконують тверді, рідкі та газові речовини.

До **твердих каталізаторів** належать метали (мідь, срібло, платина, хром та ін.) і оксиди (оксид ванадію V_2O_5 , оксид кремнію SiO_2 , оксид алюмінію Al_2O_3 , алюмосилікати та ін.).

Рідкі каталізатори – це кислоти і луги, наприклад сірчана кислота H_2SO_4 , фосфорна кислота H_3PO_4 .

Залежно від агрегатного стану каталізатора та речовин які реагують каталітичні процеси поділяють на гомогенні, гетерогенні, а також мікрогетерогенні. Між ними не можна провести чіткої межі.

Гомогенний каталіз: речовини, що реагують і каталізатор знаходяться в одному агрегатному стані, найчастіше це газ або рідина. Наприклад, виробництво етилового спирту з етилену гідратацією з використанням рідкого каталізатора (сірчана кислота):

Газовий каталізатор використовують досить рідко. При гомогенному каталізі використовують просте обладнання. Гомогенний каталіз відбувається з великою швидкістю. Тим не менш, він має такі недоліки: складність виділення каталізатора з кінцевої продукції, її забруднення і втрати каталізатора.

Гетерогенний каталіз: речовини що реагують і каталізатор знаходяться в різних агрегатних станах. Каталітична реакція проходить на межі фаз, а речовини що реагують перебувають в газовій або рідкій фазі. Гетерогенний каталіз позбавлений недоліків, які має гомогенний.

Процес **гетерогенного каталізу на твердих каталізаторах** складається з декількох стадій: дифузія реагентів до поверхні каталізатора; адсорбція їх на поверхні каталізатора з утворенням нестійких комплексів (реагент-каталізатор); перегрупування атомів з утворенням нових комплексів (утворена речовина-каталізатор); десорбція готової продукції з поверхні каталізатора; дифузія готової продукції з поверхні каталізатора в зону виходу. Швидкість кожної стадії залежить від багатьох факторів: температури, тиску, концентрації, часу контактування, перемішування суміші і т.п. Залежно від того, яка з цих стадій лімітує, ту і використовують для збільшення швидкості процесу. Наприклад, якщо лімітує дифузія, то для збільшення швидкості процесу треба змінити перемішування реагуючих речовин.

Тверді каталізатори, їхній склад і властивості

Тверді каталізатори випускають у вигляді зерен, гранул, таблеток. Їх виготовляють з таких складових: каталізатор, активатор і підкладка. Іноді каталізатори виготовляють у вигляді тонких сіток з дроту металів або сплавів.

Каталізатори – це в основному метали та оксиди (Cu, Ag, Pt, Cr, Mo, Fe, V_2O_5 , SiO_2 , Al_2O_3 та ін.).

Активатори – речовини, які підвищують активність каталізатора і збільшують продуктивність його роботи. Кожен каталізатор вимагає свого активатора. Так, для платиного каталізатора найкращим активатором є залізо, алюміній.

Підкладка – це термостійка пориста речовина, на яку наносять каталізатор і активатор. Роль носія виконують пемза, каолін, активоване вугілля, алюмосилікати та ін. Носій збільшує поверхню каталізатора, тим самим підвищуючи його активність і міцність.

Властивості твердих каталізаторів: активність, продуктивність, температура запалювання, механічна міцність, селективність.

Активність каталізатора залежить від хімічного складу і структури. Висока активність каталізатора підвищує продуктивність апарату, якість продукції, знижує витрати сировини і енергії.

Продуктивність каталізатора визначається кількістю продукції, яку отримують з одиниці об'єму каталізатора за час роботи.

Температурою запалювання каталізатора називають найнижчу температуру, при якій починає працювати каталізатор: чим активніше каталізатор, тим нижче температура запалювання. Наприклад, для хромового каталізатора температура запалювання дорівнює 200 °С, а для каталізатора, виготовленого з V_2O_5 вона становить 450 °С.

Селективністю (вибірковістю) каталізатора називають його здатність з безлічі реакцій, які відбуваються одночасно, вибрати потрібну в даний час. Наприклад, реакція окиснення аміаку може відбуватися за різними стадіями окиснення:

Проте, в присутності платиного каталізатора процес окиснення буде вести лише до утворення NO. З великою швидкістю відбуваються процеси, в яких використовують каталізатори-ферменти.

Механічна міцність твердих каталізаторів залежить від пористості структури. Зі збільшенням пористості, особливо великих пір, міцність твердого каталізатора зменшується. Це дуже важлива характеристика, оскільки при стиранні твердих каталізаторів забруднюється отримана продукція.

Під час довгої роботи каталізатори "отруюються" домішками, які є в сировині. Наприклад, платиновий каталізатор, який використовують в процесі виробництва високоякісного бензину, "отруюється" сполуками сірки і миш'яку. Те ж спостерігається з алюмосилікатами, які використовують під час каталітичного крекінгу нафтопродуктів. Активність каталізаторів падає також при наявності механічних домішок і газових реагентів. Тому сировину перед подачею в контактний апарат очищають. Для цього використовують електрофільтри або циклони. В електрофільтрах порошкові домішки

осідають під дією електростатичного поля, а в циклонах – під дією відцентрових сил.

Контактні апарати

Для проведення каталітичних процесів використовують контактні апарати, в яких контакти можуть знаходитися в нерухомому, рухомому або псевдокиплячому стані. У промисловості в більшості випадків використовують контактні апарати з нерухомим шаром каталізатора, який можна розмістити на полицях або в трубках.

Поличні апарати (рис. 1, а) можуть мати від однієї до кількох полиць. Висота шару каталізатора збільшується в напрямку виходу газу, а теплообмінника, навпаки, зменшується, оскільки зі зменшенням швидкості реакції зменшується кількість теплоти, яка виділяється в процесі реакції. У поличних апаратах теплообмін відбувається за принципом зустрічних потоків. Недолік поличних апаратів полягає в тому, що теплота відводиться ступінчасто, а тому каталітична реакція і теплообмін відбуваються одночасно.

У трубчастих апаратах (рис. 1, б) газова суміш і теплоносій (під час ендотермічних реакцій) або охолоджувач (під час екзотермічних реакцій) рухаються назустріч один одному. Нагрівання або охолодження відбувається безперервно протягом усього каталітичного процесу. Недоліки трубчастих апаратів: недосконали температурний режим і охолодження каталізатора, великі габаритні розміри теплообмінника. Впровадження комбінованих контактних апаратів частково усуває ці недоліки. Тим не менш, це не вирішує проблеми, оскільки контактні апарати з нерухомим шаром каталізатора мають такі загальні недоліки: незадовільне відведення теплоти від каталізатора, нестабільний температурний режим, низька продуктивність, періодичність заміни каталізатора в апараті та ін.

Останнім часом в промисловості почали успішно використовувати контактні апарати, в яких каталізатор постійно рухається.

Апарати з рухомим каталізатором на поличках працюють за таким принципом: газоподібна сировина під тиском подається в апарат знизу з великою швидкістю. Частинки каталізатора переходять з лежачого стану у завислий, що нагадує кипіння рідини. Отримана продукція виходить через отвір у верхній частині апарату. Холодильники розташовані всередині шарів каталізатора.

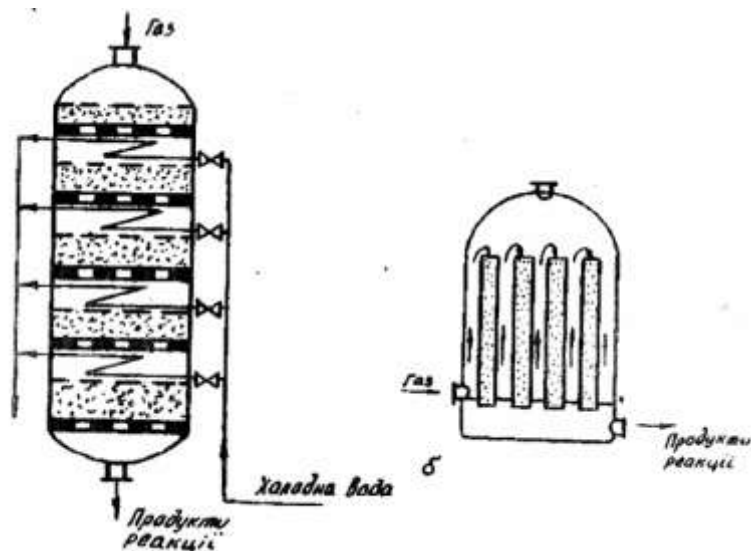


Рис. 1. Схеми контактних апаратів: а – полицних; б – трубчастих.

В апаратах іншої конструкції каталізатори і газова сировина рухаються назустріч один одному: газ знизу, а каталізатор зверху. Каталізатор падає на дно апарату, звідти надходить в регенератор. Після регенерації каталізатор знову подають в апарат зверху, і так безперервно. Ці апарати в порівнянні з тими, де каталізатор нерухомий, мають такі переваги: використання каталізатора з меншим розміром частинок, і відповідно більшою поверхнею контакту; краще дотримання температурного режиму; вища продуктивність; безперервна заміна каталізатора. Основний недолік полягає в тому, що в процесі роботи каталізатор стирається (до 10% за рік) і забруднює продукти реакції пилом.

Електрохімічні процеси

Суть і значення електрохімічних процесів.

Електрохімічні процеси пов'язані з переходом електричної енергії в хімічну і, навпаки, хімічної в електричну. Перетворення хімічної енергії на електричну має місце в гальванічних елементах. Внаслідок такого переходу гальванічний елемент використовують як джерело постійного струму. Якщо електричну енергію ввести в хімічну систему (розчин або розплав) у вигляді постійного струму за допомогою електродів, то виникнуть хімічні процеси, які називають **електролізом**. Внаслідок електролізу відбувається розчинення електроліту і виділення на електродах продуктів реакції.

Перші уявлення про зв'язок хімічних і електричних явищ виникли в XVIII ст. На особливу увагу заслуговує відкриття законів електролізу, зроблене в 30-х роках XIX ст. англійським фізиком Майклом Фарадеєм.

Уже з перших дослідів з'ясувалося, що електроліз має велике практичне значення. Проте, відсутність потужних джерел постійного електричного струму сповільнили його розвиток. І лише після винаходу динамо-машини в 1870 р., яка виробляла постійний струм, почали будувати електрохімічні

підприємства, на яких рафінували мідь. З плином часу почали будувати заводи для виробництва алюмінію, хлору, лугів і т.п.

Сьогодні електроліз водних розчинів, розплавлених солей і лугів широко застосовують в хімічній, металургійній і металообробній промисловості. Електролізом водних розчинів отримують продукцію неорганічної хімії: водень, кисень, хлор, їдкий натр, їдкий калій та ін. Електрохімічні процеси лежать в основі виробництва деяких органічних речовин; анодним окисненням спиртів отримують альдегіди і кетони.

Електролізом водних розчинів виробляють і рафінують кольорові метали: мідь, цинк, вісмут, стибій, свинець, нікель, кобальт, алюміній.

Електроліз розплавлених солей використовують для виробництва легких, тугоплавких і рідкісних металів, рафінування металів і отримання сплавів. Такі метали, як алюміній, магній, натрій, літій, отримують лише електрохімічним способом.

Металообробна промисловість використовує електрохімічні процеси для виготовлення виробів з твердих металів і сплавів, виготовлення і розмноження металевих копій (гальванопластика) і нанесення покриттів з чистих металів і сплавів на поверхні металевих виробів. Покриття захищає вироби від дії агресивних середовищ (корозії), покращує механічні властивості виробів, надає їм товарного вигляду.

Перетворення хімічної енергії в електричну лежить в основі роботи акумуляторів.

Швидкі темпи розвитку електрохімії і впровадження електрохімічних процесів в різні галузі промисловості пояснюються важливими перевагами електрохімічних способів порівняно з іншими, наприклад з хімічними. Застосування електролізу спрощує будову апаратів, скорочує технологічні схеми, дає можливість використовувати більш дешеву сировину і повніше її переробляти, отримувати цінну побічну продукцію і тим самим – знижувати собівартість основної. Електрохімія дає можливість отримувати продукцію високої чистоти.

Головним недоліком електрохімічних процесів є відносно великі витрати електроенергії, вартість якої становить основну частину собівартості продукції. Саме тому для електрохімічних виробництв необхідно раціонально використовувати електричний струм.

Основні закономірності електрохімічних процесів

Електрохімічні процеси проходять в реакторах, які називають **електролізерами**. Електролізер складається з ванни, викладеної зсередини кислотостійкими матеріалами, електродів (анода і катода), допоміжних механізмів і пристроїв. Через електроліт (розчин або розплав), яким заповнюють ванну, від позитивного електрода (анода) до негативного (катода) проходить постійний електричний струм. Електроди можуть бути твердими (наприклад, графіт, залізо, мідь і ін.) і рідкими (ртуть).

На аноді протікають реакції розчинення або окиснення металу, на катоді – його виділення або відновлення. Наприклад, в процесі електролізу

розчину хлориду натрію NaCl на аноді виділяється хлор, а на катоді – водень; в процесі рафінування міді анод (чорнова мідь) розчиняється, а на катоді виділяється чиста мідь (розміри анода зменшуються, а катода збільшуються).

Залежність між кількістю речовини, яка виділяється на електродах під час електролізу, і кількістю електричного струму, який пройшов через електроліт, визначається законами Майкла Фарадея.

Перший закон: кількість речовини m , яка виділилася на електродах, прямо пропорційна силі струму I і часу t його проходження через електроліт.

Другий закон: при проходженні однієї і тієї ж кількості електрики через різні електроліти кількість речовини, що виділяється на електродах, прямо пропорційна хімічним еквівалентам цих речовин.

Наприклад, нехай електричний струм послідовно проходить через розчини соляної кислоти HCl, нітрату срібла AgNO₃, хлориду міді CuCl₂ і хлориду олова SnCl₂. За час виділення з розчину соляної кислоти 1 г водню, тобто 1 моль атомів, із залишку розчинів на катоді виділяться маси металів, зазначені в табл. 1.

Таблиця 1 –

| Електроліт | Маса металу, г | Атомна маса металу |
|-------------------|----------------|--------------------|
| AgNO ₃ | 107,9 | 107,87 |
| CuCl ₂ | 31,8 | 63,55 |
| SnCl ₄ | 29,7 | 118,69 |

Порівнюючи отримані маси металів з їхніми атомними масами, бачимо, що на катоді виділяється 1 моль атомів срібла, 1/2 моля атомів міді і 1/4 моля атомів олова. Іншими словами, маси отриманих на катоді речовин рівні їхнім еквівалентам. До такого ж висновку приводить і вимірювання кількості речовин, які виділилися на аноді: з електролітів HCl, CuCl₂ і SnCl₄ – по 35,5 г хлору, а з AgNO₃ – 8 г кисню.

Отже, при проходженні електричного струму однакової сили через різні електроліти кількість речовини, що виділяється на електродах, пропорційна хімічним еквівалентам цих речовин.

Для виділення одного грам-еквівалента будь-якої речовини потрібно витратити однакову кількість електрики, а саме: 96500 кулонів (число Фарадея), або 26,8 Ампер-годин (А·год.).

Кількість речовини, що виділяється на електродах при проходженні через електроліт 1 А·год. електрики, називають **електрохімічним еквівалентом** речовини і позначають буквою C .

Електрохімічний еквівалент речовини отримують діленням величини хімічного еквівалента на 26,8. Практично в процесі електролізу водних розчинів виділяється менша кількість речовини, ніж розраховано згідно із законом Фарадея. Причиною цього є те, що частина електричної енергії витрачається на побічні хімічні і електрохімічні процеси, які протікають в електроліті. Для збільшення виходу речовини необхідно зменшити побічні процеси.

Критеріями раціонального використання електричної енергії в процесі електролізу є вихід за струмом і енергією.

Вихід за струмом η виражається відношенням кількості речовини, яка фактично виділилася в процесі електролізу m_{ϕ} до теоретично розрахованої кількості m_T за законом Фарадея:

—

Значення η завжди менше одиниці, оскільки частина електричного заряду витрачається на розрядку інших іонів, які є в електроліті.

Кількість речовини, яка мала б виділитися в процесі електролізу (тобто за законом Фарадея),

—

де E – хімічний еквівалент речовини; I – сила струму; t – час проходження струму через електроліт. Отже, вихід за струмом, %,

—————

Вихід за енергією μ виражається відношенням кількості електроенергії, теоретично необхідної для проходження електролізу W_T , до фактично витраченої кількості в цьому процесі :

—

Для визначення витрати електроенергії на одиницю продукції, отриманої в процесі електролізу, необхідно знати вихід за струмом і середню робочу напругу:

—

де C – електрохімічний еквівалент даної речовини; V – середня робоча напруга; η - вихід за струмом.

Біохімічні процеси

Основні відомості про біохімічні процеси

Біохімічними називають технологічні процеси, які відбуваються під дією обраних мікроорганізмів.

Мікроорганізми – це переважно одноклітинні організми, які можна побачити лише за допомогою мікроскопа. До них належать бактерії та мікроскопічні грибки. Мікроорганізми можуть жити в різних середовищах: одні (анаероби) не потребують кисню, другі (аероби) без нього не можуть жити, треті прекрасно живуть в ядерному реакторі. Існують мікроорганізми, які живуть в глибокому вакуумі, а також такі, які витримують тиск 100...140 МПа. У промисловості найбільше значення мають мікроорганізми – аероби.

Біохімічні процеси є основою біотехнології.

Біотехнологією називають виробництво продукції з використанням біохімічних процесів, які відбуваються в живій клітині.

Біотехнологія використовує досягнення біохімії, мікробіології, молекулярної біології і широко використовується в харчовій, фармацевтичній, гірничорудній та хімічній промисловості, в процесі очищення стічних вод і т.п.

Плодами біотехнології користуються давно: бродіння тіста викликають дріжджові грибки, скисання молока – молочнокислі бактерії і т.п. Наукове розуміння цих процесів прийшло лише в ХІХ ст. завдяки працям французького вченого Луї Пастера. І лише через століття після цього відкриття мікроскопічні грибки і бактерії стали широко використовуватися в промисловості.

На сьогодні за допомогою мікроорганізмів виробляють найрізноманітнішу продукцію: антибіотики, вітаміни, амінокислоти і білки, мікробіологічні способи захисту рослин, спирти, корми тощо. Інтерес до біотехнології постійно зростає.

У порівнянні з хімічними процесами мікробіологічні мають ряд переваг: реакції протікають в основному при невисоких температурах і тиску в досить простому по конструкції обладнанні; завдяки цьому спрощується технологічний процес, зменшуються капіталовкладення та експлуатаційні витрати. Наприклад, такі речовини, як аміак, гліцерин, фенол, метанол вигідніше виробляти біотехнологічними, ніж хімічними способами, які є енергоємними.

Для культивування мікроорганізмів використовують дешеву сировину, наприклад стічні води, побічну продукцію промислових виробництв.

Сировиною для мікробіологічного синтезу використовують нафту, нафтопродукти і відходи їхньої переробки, природний газ, сапропель (озерний мул), патоку (відходи під час виробництва цукру), молочну сироватку (відходи під час виробництва сиру, казеїну тощо), а також відходи целюлозно-паперової промисловості.

Бродіння і його види

Прикладом біохімічних процесів є бродіння.

Бродінням називають біохімічний процес, при якому внаслідок дії мікроорганізмів на органічні речовини виходить напівфабрикат або готова продукція.

Бродіння починається в середовищах, які містять цукристі речовини. В процесі бродіння утворюються спирти або органічні кислоти. Відомо кілька видів бродіння: найпоширенішими є молочнокисле, олійно-кисле і спиртове.

Молочнокисле бродіння ґрунтується на діяльності молочнокислих бактерій. Його застосовують в харчовій промисловості для виробництва кефіру, кислого молока, сиру і т.п.; при квашенні капусти, помідорів, огірків; силосовані кормів для худоби і т.п.

Олійно-кисле бродіння викликається олійно-кислими бактеріями. В процесі бродіння крохмалю, цукру і клітковини отримують ацетон, бутиловий спирт та інші цінні хімічні речовини. Олійно-кисле бродіння лежить в основі первинної обробки коноплі, льону.

Спиртове бродіння ґрунтується на застосуванні дріжджів, які належать до класу грибків. Під дією цих мікроорганізмів з напівцукрів утворюються спирт, гліцерин, оцтовий альдегід. Спиртове бродіння лежить в основі виробництва хліба, вина, етилового спирту.

Технологічний процес мікробіологічного синтезу

Технологічний процес мікробіологічного синтезу багатостадійний. Найважливішими стадіями є приготування і стерилізація живильного середовища, збереження мікроорганізмів і їхнє розмноження в лабораторії, отримання мікроорганізмів в цеху, бродіння, виділення продукції, пакування готової продукції.

Основною стадією є бродіння, яке відбувається в апаратах-реакторах, де створюються всі необхідні умови для нормального проходження процесу: стерильність, постійне перемішування, аерація, відповідний температурний режим.

Білки – це високомолекулярні сполуки, побудовані з амінокислот. У світі відчутна нестача білків як кормових, так і харчових, і поповнити її природним шляхом не вдається.

Одним з найважливіших напрямків розвитку біотехнології є удосконалення білка і збільшення його кількості.

Кормові білки виробляють аеробним культивуванням (вирощуванням) дріжджів на сировину рослинного і мінерального походження. У першому випадку отримують гідролізні дріжджі, а в другому білково-вітамінний концентрат (БВК).

Гідролізні дріжджі. Дріжджі дуже поширені в природі, особливо там, де є цукристі речовини (ягоди, фрукти, молочні продукти і т.п.). Для виробництва дріжджів необхідно мати сприятливе середовище, в якому їх можна вирощувати.

Живильне середовище отримують гідролізом матеріалів рослинного походження (соломи, тирси тощо). В процесі гідролізу целюлоза, яка міститься в цих матеріалах, розщеплюється і переходить в розчин, а лігнін залишається в твердому вигляді. Процес гідролізу енергоємний і незважаючи на присутність каталізатора (соляної, сірчаної та інших кислот) відбувається під час нагрівання до температури 180 °С і при тиску 1,0...1,2 МПа. Отриманий гідролізат (кислий розчин цукрів) нейтралізують – і живильне середовище готове для вирощування мікроорганізмів в бродильних апаратах. Отриману дріжджову біомасу концентрують, нагрівають, висушують і пакують.

З 1 т відходів деревини можна отримати до 250 кг кормових дріжджів, а з такої самої кількості кукурудзяних качанів – до 280 кг.

Білково-вітамінний концентрат. Це склад вітамінів, мінеральних речовин і мікроелементів. У ньому міститься більше протеїну, ніж в білкових кормах рослинного походження. Білково-вітамінний концентрат виробляють з очищених рідких парафінів, природного газу, етилового спирту і т.п., до яких додають елементи мінерального живлення: азот, фосфор, магній, калій, залізо, цинк, марганець. Крім того, живильне середовище містить елементи (в мікродозах): молібден, мідь, кобальт, кальцій, нікель, сірку, хлор та ін. Недостатність в живильному середовищі якогось елемента з групи мінерального живлення змінює розвиток клітин і їхній склад.

Природний газ є кращою сировиною для виробництва БВК, ніж парафіни, оскільки в біомасі міститься до 70% сирого протеїну, а БВК, що отримується з етилового спирту, має вищу якість.

Плазмові процеси

Плазма і її використання в технології

Плазмою називають високоіонізований газ, який складається з позитивно і негативно заряджених частинок і нейтральних атомів і молекул.

Кількість позитивних і негативних частинок в плазмі майже однакова. Саме тому плазма є електронейтральною речовиною. На відміну від газових речовин, плазма яскраво світиться, має електропровідність і активно взаємодіє з магнітним полем. Прикладом плазми є полум'я, яке виривається з сопла ракетного двигуна, полярне сяйво і зірки на небосхилі, іскри в електричних приладах, блискавка, електрична дуга і т.п.

Вперше термін "плазма" вжив американський вчений І. Ленгмюр в 1923 р. для визначення стану газу, який виникає при електричному розряді.

Умовно плазму поділяють на **низькотемпературну** ($T \approx 10^3 \dots 10^5$ °С) і **високотемпературну** ($T \approx 10^6 \dots 10^8$ °С). Високотемпературну плазму називають гарячою. Прикладом гарячої плазми є Сонце, зірки, епіцентри вибухів атомних і водневих бомб, штучну високотемпературну плазму отримують в дослідницьких установках і утримують надпотужним магнітним полем. Отримана плазма існує частки секунди. В майбутньому (на думку

фізиків) високотемпературна плазма це потенційне джерело термоядерної енергії.

Низькотемпературна, або як її ще називають, холодна плазма в природі зустрічається у вигляді кульової блискавки. Штучну низькотемпературну плазму отримують за допомогою спеціальних пристроїв, які називають плазмотронами.

У промисловості низькотемпературна плазма використовується для хімічного синтезу неорганічних і органічних сполук, композиційних матеріалів, виробництва дрібнодисперсних порошків, виплавки сталі, вирощування монокристалів, різання і зварювання конструкційних матеріалів, нанесення тугоплавких та інших покриттів на вироби, отримання скла, надчистих металів і т.д.

Використання плазми в технології цінне тим, що плазма має велику швидкість потоку, а це дуже важливо при різанні; плазма видуває розплавлений метал із зони різання. Крім того, плазмовий потік легко змінює форму і напрямок за допомогою зовнішнього магнітного поля. Його можна використовувати для робіт під водою, наприклад в процесі зварювання.

Плазму використовують як джерело теплової або механічної енергії, а також для отримання заряджених частинок (електронів, іонів). Плазму як джерело теплової енергії використовують в процесах зварювання, пайки, напилення, наплавлення, різання, хіміко-термічної обробки (азотування) і т.п. Крім того, її використовують для поліпшення фізико-хімічних властивостей матеріалів: при вирощуванні монокристалів, зонному та плазмово-дуговому рафінуванні металів, отриманні ультрадисперсних порошків та ін.

На сучасному етапі розвитку технології плазма дає можливість отримувати надвисокі температури, які не можна отримати іншими способами. Це дуже важливо, оскільки для деяких технологічних процесів підвищення температури є вирішальним фактором прискорення хімічних перетворень. Наприклад, швидкість окиснення азоту зростає в 90 млн. разів, якщо температуру процесу підвищити з 1700 до 4000 °С. Крім того, використання плазми в хіміко-технологічних процесах дає можливість вибрати більш дешеву сировину. Наприклад, відомі способи виробництва азотної кислоти окисненням аміаку громіздкі, крім того, пов'язані з витратою природного газу, якого в світі стає щораз менше. Використовувати повітря для виробництва оксиду азоту NO можна лише за умови високих температур (3000 °С), що можна отримати в плазмотроні.

Застосування плазми в промисловості, особливо в хімічній технології, обумовлено невеликими розмірами реакторів, високою швидкістю проходження технологічного процесу, малою чутливістю до домішок в сировині і т.п.

Великі швидкості плазмово-хімічних процесів (їхня тривалість складає $10^{-2} \dots 10^{-5}$ с) дають можливість зменшити розміри обладнання. Наприклад, в процесі піролізу металу плазмовий реактор продуктивністю 25000 т в рік повинен мати діаметр 15 см і довжину 65 см. Плазмове обладнання випускають серійно на заводах. Воно складається з таких основних

елементів: плазмотрон, реактор і гартівний пристрій. У плазмотроні за допомогою електродугових або інших розрядів утворюється плазма, тобто потік іонізованого газу (аргон, гелій, азот тощо), яка направляєється в реактор, куди подають речовини що реагують (сировину). Після реакції отримана продукція надходить в холодильник, де швидко охолоджується.

Види плазмових процесів

Плазма – це високоіонізований газ. Плазмові процеси за агрегатним станом реагентів поділяються на гомо- та гетерогенні.

Під час гомогенних плазмових процесів речовини що реагують перебувають в газовому стані. Такі процеси відбуваються при окисненні азоту, отриманні ацетилену з природного газу і т.п. Ацетилен є сировиною для виробництва полімерів, розчинників та інших органічних речовин.

При отриманні ацетилену C_2H_2 з природного газу, який містить 90-96% метану CH_4 , останній виконує роль сировини і енергоносія (плазмоутворювального газу). Об'єднання цих функцій знижує енерговитрати, підвищує ступінь перетворення метану в ацетилен і підвищує концентрацію ацетилену.

У гетерогенних плазмових процесах сировина і плазма знаходяться в різних агрегатних станах: плазма – у вигляді газу, а сировина – у вигляді дрібнодисперсного порошку або рідини. Гетерогенні процеси використовуються під час відновлення складних з'єднань в оксидних рудах; отримання нітридів, каталізаторів, вирощування великих монокристалів; нанесення тонких кристалічних і аморфних плівок для мікроелектроніки і т.п.

Плазмотрони, їхня будова і принцип роботи

Плазмотронами називають апарати, за допомогою яких отримують плазму.

Основні елементи плазмотрона – електрод і сопло. Для утворення плазми використовують аргон, гелій, азот, водень, аміак, кисень, повітря та ін. Інертні гази аргон, гелій забезпечують збудження і горіння дуги, захищають електрод від окиснення. Проте, ці гази одноатомні і запас енергії, яку вони придбали в стовпі дуги, менший, ніж при використанні молекулярних газів, наприклад азоту N_2 . Для утворення плазми широко використовують азот, а останнім часом і повітря.

При використанні повітря і кисню електроди необхідно захищати від руйнування (окиснення) або виготовляти з цирконію або гафнію.

Плазмотрони можуть бути різної конструкції. Деякі з них зображені на рис. 2.

Залежно від конструкції плазмотрона на виході з сопла отримують плазмовий потік або плазмову дугу.

Для отримання плазмового потоку використовують плазмотрон, схема якого показана на рис. 2, а. У плазмотроні дуга 2 горить між електродом 5 і соплом 4, куди подається робочий (плазмоутворювальний) газ. Нагрівання

виробів 1 плазмовим потоком застосовують при нанесенні покриттів (плазмове напилення) і загартуванні виробів, виготовлених із вуглецевих сталей.

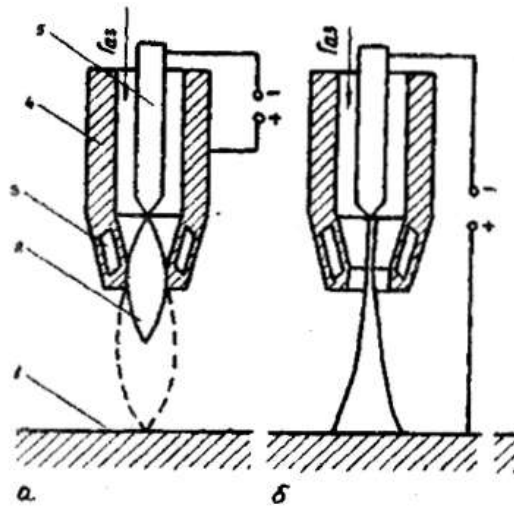


Рис. 2. Схеми плазмотронів для отримання: а – плазмового потоку; б – плазмової дуги.

Плазмову дугу отримують за допомогою плазмотрона, схема якого показана на рис. 2,б. Тут дуга 2 горить між електродом 5 і виробом 1, а потік плазми збігається зі стовпом дуги. Таку плазмову дугу використовують під час різання.

Температура плазми може змінюватися від 10 до $5 \cdot 10^4$ °С. Це залежить від сили струму, виду робочого (плазмоутворювального) газу, його кількості, а також конструкції плазмотрона. Під час роботи плазмотрон безперервно охолоджується водою, яка тече в каналах 3 сопла.

Проте, слід зауважити, що обладнання, за допомогою якого отримують плазму, має високий рівень шуму. Крім того, для отримання плазми потрібна значно вища напруга, ніж для отримання електричної дуги.

Радіаційно-хімічні процеси

Радіаційно-хімічними називають такі процеси, які відбуваються під дією рентгенівських променів, γ -променів, електронів, протонів, нейтронів, α - і β -частинок і т.п.

Джерелом отримання цих випромінювань є ядерні реактори, прискорювачі часток, радіоактивні ізотопи і ін.

Під дією іонізуючого випромінювання електрони вибиваються з внутрішніх оболонок атомів, що викликає глибокі хімічні перетворення, які широко використовуються в технології для отримання речовин з наперед заданими властивостями і речовин, які іншими способами одержати неможливо.

Процеси, які відбуваються при опроміненні речовини, поділяються на три стадії.

На першій стадії заряджені частинки стикаються з молекулами речовин, внаслідок чого змінюється їхній енергетичний стан; молекули набувають енергію, частинки – втрачають її.

На другій стадії збуджені молекули розпадаються або взаємодіють з іншими молекулами, внаслідок чого утворюються іони, атоми і радикали, тобто проміжні активні частинки.

На третій стадії активні частинки, які утворилися на другій стадії, взаємодіють між собою або з оточуючими їх молекулами з утворенням молекул кінцевої продукції.

Радіаційно-хімічні процеси використовують в процесі полімеризації і вулканізації високомолекулярних сполук, синтезу деяких речовин, очищенні стічних вод, твердих і газових відходів промислових підприємств і т.п.

Радіаційну полімеризацію проводять при низьких температурах під дією β -частинок і γ -променів. Мономери знаходяться у твердій, рідкій і газоподібній фазах. Полімеризацію під дією заряджених частинок широко використовують при виробництві полімерів високої чистоти, необхідної в медицині і напівпровідниковій електроніці. Полімеризують етилен, тетрафторетилен і т.п. Внаслідок радіаційної полімеризації етилену отримують термостійкий електроізоляційний матеріал – поліетилен:

n

Полімеризуючи тетрафторетилен, отримують фторопласт-4:

Вулканізація каучуку в порівнянні з традиційним способом, який проводять при температурі 180...200 °С і тиску 15...20 МПа, має велике техніко-економічне значення, оскільки трудомісткість і енергоємність менша, а якість отриманої продукції вище.

Радіаційно-хімічний синтез широко використовують для виготовлення речовин, необхідних в процесі виробництва миючих засобів, поверхнево-активних речовин, мастил, отрутохімікатів тощо.

Радіаційно-хімічне очищення води, побутових і промислових відходів, застосовують дуже широко. При опроміненні природна вода дезінфікується і з неї виходять гази; стічні води очищають від фенолу, поверхнево-активних речовин та ін. Тверді відходи після радіаційно-хімічного очищення використовують в народному господарстві як добрива. Широко використовують в промисловості радіаційне очищення газів, що викидаються від оксидів сірки, азоту тощо.

Основні **недоліки** радіаційно-хімічних процесів – згубний вплив радіації на працівників, які обслуговують джерело випромінювання, і

необхідність обов'язкового поховання радіоактивних відходів (стронцію, цезію та ін.).

Під час роботи з радіоактивними речовинами та експлуатації ядерних реакторів слід дотримуватися всіх правил техніки безпеки щодо захисту від дії радіоактивного випромінювання. Кожен працівник з обслуговуючого персоналу повинен мати індивідуальний дозиметр, який контролює дозу випромінювання, що отримується людиною.

Роботу з радіоактивними речовинами треба виконувати за допомогою спеціальних приладів – маніпуляторів. У приміщеннях, в яких працюють з радіоактивними речовинами, необхідно встановити безперервну вентиляцію.

Фотохімічні процеси

Фотохімічними називають процеси, які викликаються світлом або проходять під його дією.

Механізм фотохімічних процесів ґрунтується на активації молекул речовин які реагують при поглинанні ними порцій (фотонів) світлової енергії. При поглинанні світла змінюється електронна структура молекули; електрони на зовнішніх оболонках атомів збуджуються і молекули стають здатними до перетворення.

Фотохімічні процеси поділяють на три групи.

До першої групи належать процеси, які після поглинання речовинами які реагують світлової енергії проходять мимовільно. Для цих процесів світло є лише збудником (ініціатором). Ці процеси застосовують, наприклад, під час хлорування вуглеводнів, синтезі полімерів, утворенні хлористого водню і т.п.

При фотохімічному хлоруванні вуглеводнів молекули хлору під впливом світлової енергії дисоціюють на атоми і утворюються хлоросамовільні вуглеводні. Наприклад, під час хлорування метану проходять ланцюгові реакції з утворенням хлорпохідних метану: хлористого метилу CH_3Cl

хлористого метилу

хлороформу

чотирихлористого вуглецю

Після конденсації хлорпохідних метану направляють на ректифікацію і виділення окремих складових, а газу повертаються на хлорування.

У промисловості хлорування метану проводять в дві стадії: спочатку термічним хлоруванням метану отримують хлористий метил CH_3Cl і хлористий метилен CH_2Cl_2 , а потім фотохімічним хлоруванням хлористого метилену отримують хлороформ CHCl_3 і чотирихлористий вуглець CCl_4 .

Синтез полімерів розглянемо на прикладі полімеризації стиролу з утворенням полістиролу:

Реакція між воднем і хлором з утворенням хлористого водню при звичайних умовах проходить дуже повільно:

При освітленні сонячним промінням реакція між воднем і хлором відбувається бурхливо і може статися вибух.

Друга група фотохімічних процесів вимагає безперервного підведення світлової енергії до речовин які реагують. Як тільки подача світла припиняється, процес зупиняється. Такі фотохімічні процеси відбуваються в живих організмах, рослинах, сонячних батареях, фотосправі і т.п.

Наприклад, процес природного фотосинтезу в рослинах пов'язаний з поглинанням світла хлорофілом і виділенням кисню:

На фотохімічних процесах цієї групи заснований принцип фотографії, при якому під дією світла розкладається хлористе срібло, нанесене на фотоматеріали (плівку, папір):

До третьої групи належать процеси, при яких світло поглинається не речовинами, які реагують, а каталізатором, який прискорює процес. Такі процеси називаються фотокаталітичними. Роль фотокаталізаторів можуть виконувати оксиди цинку, міді, кадмію та ін. Ці процеси лежать в основі виробництва органічних речовин і т.п.

Велика кількість продукції, яку виробляють за допомогою фотохімічних процесів, може бути отримана іншими процесами (наприклад, термічним). Проте, перевагу дають фотохімічним. Причинами є висока селективність реакції, можливість активізувати лише певну групу або зв'язок в молекулі, легке регулювання швидкості реакції, висока чистота отриманої продукції, мала енергоємність і ін.

Лазерні процеси

Лазером називають джерело потужного світлового монохроматичного випромінювання.

Лазер (від англ. laser) є скороченням від light amplification by stimulated emission of radiation – посилення світла за допомогою індукованого випромінювання.

Серед наукових досягнень ХХ ст. одне з перших місць належить лазерам. В 1960 р. доктор Г. Мейман (Каліфорнія) вперше отримав лазерний промінь. У 1964 р. Н.Г. Басов, А.М. Прохоров (Інститут фізики ім. Лебедева, Москва) і Чарльз Таунс (Массачусетський технологічний інститут, США) були відзначені Нобелівською премією за основні дослідження в галузі квантової електроніки, яка привела до створення лазерів.

На сьогодні відомо понад 350 областей застосування лазерів. Це – локація, системи передачі інформації, спектроскопія, телебачення, біологія, медицина, військова справа, лазерна технологія, синтез нових матеріалів, обробка конструкційних матеріалів різанням, виготовлення отворів в алмазних волокнах для протягування проводу, тоншого за людську волосину, виготовлення фільмів, легування приповерхневих шарів виробів для поліпшення їхніх властивостей, термічна обробка сталевих виробів, виготовлення мікросхем і т.п.

Основними елементами лазера є робоче тіло і система збудження випромінювання. Робоче тіло може перебувати в твердому, рідкому і газоподібному станах. Залежно від стану робочого тіла відомо чотири типи лазерів: тверді, напівпровідникові, газові та рідинні.

Найпоширенішими є тверді лазери, їх виготовляють з монокристалів штучного рубіна, скла, легуваного неодимом, і т.п.

Монокристал штучного рубіна – це кристал оксиду алюмінію, легований хромом (0,05%). Довжина робочого тіла рубінового лазера дорівнює 45...240 мм, діаметр 3,5...16 мм. Коефіцієнт корисної дії рубінового лазера складає 0,1-0,5%, а інших – не перевищує 2%.

У напівпровідникових лазерах робоче тіло найчастіше виготовляють з арсеніду галію, кремнію, легуваного індієм, арсеніду індію та ін. Коефіцієнт корисної дії (ККД) напівпровідникових лазерів становить 40-50%. Крім високого ККД ці лазери мають маленькі розміри. Робоче тіло виготовлено з кристала розміром 1x1x1 мм. Це перспективний тип лазерів. Проте, поки що застосовується мало.

Робочим тілом **газових лазерів** є суміш газів $\text{CO}_2 + \text{He} + \text{N}_2$. Оскільки гелій He дуже дорогий, то ведуться пошуки нових безгелієвих робочих сумішей, наприклад $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$; $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{повітря}$ і т.д. їх називають CO_2 -лазерами, або лазерами на CO_2 .

Як робоче тіло в **рідинних лазерах** використовують розчин неорганічних сполук рідкоземельних елементів і органічних барвників, наприклад оксихлорид селену з домішками неодиму. Використовують такі ж барвники, які і при фарбуванні тканин і пластмас.

У технологічних процесах в основному використовують тверді і газові лазери.

Схема твердого рубінового лазера зображена на рис. 3. Великий кристал штучного рубіна 1 в формі стрижня з ретельно відполірованими торцями, покритими шаром срібла, поміщений в середину наповненої ксеноном спіральної лампи 2, яку називають лампою нагнітання. Лампа живиться від батареї конденсаторів 3 і під час їхнього розряду періодично спалахує. Рубіновий стрижень вставлений в скляну трубку 4, в яку безперервно подають охолоджуючу середу. Положення стрижня в трубці зафіксовано пружиною 5.

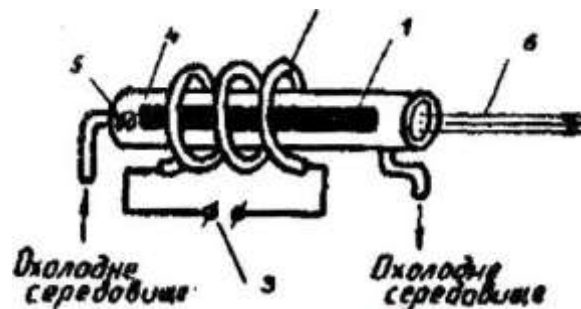


Рис. 3. Схема рубінового лазера.

Під час інтенсивних спалахів лампи рубін висвітлюється і атоми хрому, поглинаючи світловий квант, переходять з нормального стану в збуджений внаслідок оптичного нагнітання. У момент, коли більша половина атомів хрому переходить у збуджений стан, рівновага стає нестійкою, в кристалі звільняється накопичена енергія, атоми повертаються в нормальний стан і кристал випромінює фотони. Потужний потік фотонів проривається крізь напівпрозорий передній торець кристала, створюючи сильне випромінювання у вигляді пучка червоного світла 6. За допомогою збиральної лінзи (на рис. 2 не позначено) пучок світла фокусується на площі діаметром до 1 мкм. Висока концентрація енергії нагріває поверхню матеріалу до температури в кілька тисяч градусів. Внаслідок цього матеріал миттєво розплавляється і частково випаровується із зони дії лазерного променя.

Лазерне випромінювання використовують як новий вид універсального інструменту для обробки матеріалів.

У порівнянні з механічною обробкою матеріалів різанням лазерна обробка має такі переваги: відсутність механічної дії інструменту на заготовку, що дає можливість обробляти тонкі, маленькі вироби без побоювання їх пошкодити; немає потреби в додаткових пристроях для закріплення заготовки (її встановлюють на робочому столі без закріплення); завдяки гнучкості лазерного променя-інструменту можна обробляти заготовки в важкодоступних або недоступних для звичайного інструмента місцях; висока продуктивність технологічних операцій завдяки безінерційності під час переміщення лазерного променя щодо заготовки;

завдяки можливості управління температурою в зоні дії лазерного променя в широких межах можна обробляти всі відомі на сьогодні матеріали; лазерна обробка повністю автоматизована; застосування лазерної обробки надає виробам нові властивості (підвищується якість, надійність, довговічність деталей, інструментів і т.п.), покращує умови праці, підвищує культуру виробництва.

Лазерним променем за одну хвилину можна виготовити до декількох тисяч отворів. Отвори виготовляють в твердих сплавах, кераміці, цінному камінні та ін. Зараз досить гостро стоїть проблема економії матеріалів під час їхнього розкрою. Лазерний промінь розкроює металевий лист в судно-, авіа- або автомобілебудуванні зі швидкістю різання кілька метрів в хвилину, а неметалеві матеріали – тканини, пластмаси, гуму – ще швидше. Деякі складні профілі з неметалічних матеріалів можна отримати тільки за допомогою лазера. Це стосується кераміки, яку останнім часом почали використовувати в машинобудуванні. Керамічним матеріалам належить майбутнє, оскільки виготовлені з них деталі машин витримують екстремальні умови експлуатації. В Японії, наприклад, з таких матеріалів роблять деталі для двигунів внутрішнього згорання.

Керамічні матеріали дуже тверді, але порівняно легко ріжуться лазерним променем.

Перспективним в приладо- і машинобудуванні є лазерне зварювання мініатюрних виробів, виготовлених з різних матеріалів. На відміну від електронно-променевого лазерне зварювання не вимагає складного обладнання та спеціальної вакуумної камери.

Лазерний промінь – універсальний інструмент у багатьох областях народного господарства.

Ультразвукові процеси

Ультразвуком називають пружні механічні коливання, які поширюються в середовищі з частотою понад 20 кГц.

Вухом людини здатне сприймати звукові хвилі в інтервалі частот в середньому від 16 Гц до 20 кГц. Звуки, частоти яких менше 16 Гц і перевищують 20 кГц, людське вухо взагалі не сприймає. Людина їх просто не чує. Звукові хвилі з частотою менше ніж 16 Гц називають інфразвуком, а з частотою понад 20 кГц – ультразвуком.

Ультразвукові (УЗ) хвилі (як і світлові) відбиваються від перешкод, які зустрічаються на шляху їхнього поширення. Ці хвилі можна збирати в пучки і направляти на об'єкти обробки.

Падаючи на межу двох середовищ, наприклад повітря і води, кварцу і алюмінію, ультразвукові хвилі частково відбиваються, і частково проникають в друге середовище. Найкраще УЗ проходить через межу однофазних середовищ, наприклад, з твердого тіла в тверде, значно гірше – через межу різнофазних, наприклад, з рідини в тверде тіло і навпаки, і зовсім погано – з газу в рідину або тверде тіло і навпаки.

Джерелом ультразвуку є тіло, що коливається, частота коливань якого перевищує 20 кГц. За принципом дії джерела УЗ поділяють на **електродинамічні, магнітострикційні і п'єзоелектричні** (електрострикційні). Вони розрізняються діапазонами частот ультразвуку, які випромінюють. Так, електродинамічні джерела випромінюють УЗ з частотою 30...40 кГц, магнітострикційні – до 200 кГц, а п'єзоелектричні – від 100 кГц до 50 кГц. Для отримання УЗ часто застосовують магнітострикційні або п'єзоелектричні джерела. В основі принципу дії магнітострикційного випромінювача лежить явище магнітострикції, яке в 1847 р. винайшов англійський фізик Дж. Джоуль. Вивчаючи вплив магнітного поля на лінійні розміри металів, Дж. Джоуль помітив, що залізний стрижень в слабкому магнітному полі подовжується, а в сильному – скорочується. Нікелевий стрижень тільки скорочується. Зміну розмірів феромагнітних матеріалів в магнітному полі називають магнітострикцією. Явище магнітострикції сильно проявляється в нікелі, нержавіючій сталі. Великий магнітострикційний ефект має сплав пермендюр, який складається з 49% заліза, 49% кобальту і 2% ванадію. Саме з нього виготовляють магнітострикційні випромінювачі ультразвуку. Залежно від призначення магнітострикційні випромінювачі можуть мати різну форму. Найчастіше вони мають вигляд стрижня або труби з обмоткою, по якій проходить струм потрібної частоти, торцеві поверхні яких випромінюють ультразвук. Магнітострикційні випромінювачі мають просту будову, велику механічну потужність, тривалий термін служби і є дешевими. Для отримання УЗ великої потужності такі випромінювачі не вимагають високих напруг. Проте, за допомогою магнітострикційних випромінювачів можна отримати УЗ коливання значної інтенсивності тільки з частотами близькими 200 кГц. Для отримання вищих частот довжина стрижня магнітострикційного випромінювача повинна бути менше 1 см.

Для збудження УЗ коливань більш високих частот в рідинах і твердих тілах використовують п'єзоелектричний ефект, який дає можливість отримати УЗ частотою від 100 кГц до 50 кГц.

П'єзоелектричний ефект відкритий в 1880 р. французькими вченими братами П'єром і Жоржем Кюрі в процесі дослідження властивостей кристалів кварцу. Якщо на кварцову пластинку подати електричну напругу, то вона змінить свої розміри – стиснеться або розтягнеться. Чим вища напруга, тим більшою буде деформація пластинки. Якщо на межі пластинки подати змінну напругу, то в такт коливанню напруги платівка буде стискатися або розтягуватися, створюючи навколо себе звукові хвилі. Якщо прикладена напруга буде змінюватися з ультразвуковою частотою, то платівка буде джерелом УЗ коливань. Крім кварцу, який є дуже крихким, п'єзоелектричні властивості мають інші кристалічні матеріали. Останнім часом все частіше в різних установках використовують титанат барію, п'єзоелектричний ефект якого в 200 разів перевищує п'єзоелектр ефект кварцу. Титанат барію дешевший кварцу, а випромінювачі УЗ коливань виготовляють спіканням.

Живлення **ультразвукових перетворювачів** здійснюється електричною енергією. Для цього використовують високочастотні генератори. Потужність, розміри і частоту коливань генератора вибирають згідно з його призначенням. Наприклад, в ультразвукових верстатах для механічної обробки твердих сплавів і очищення поверхонь деталей потрібні генератори потужністю до 20 кВт, а для установок ультразвукової фізіотерапії – потужністю 10...20 Вт.

Пізнаючи природу ультразвуку, почали використовувати його при виконанні певних видів робіт або прискоренні технологічних процесів. У різних областях народного господарства, і перш за все в легкій, текстильній, хімічній, харчовій промисловості, широко застосовують різні технологічні процеси, які в більшості випадків відбуваються повільно. Як показали дослідження, під дією потужних УЗ коливань ці процеси значно прискорюються. Так, в процесі дублення деяких сортів шкіри без застосування УЗ вона намокає в розчині за 5 діб, а за допомогою УЗ час намокання скорочується у 8 разів.

Важливу роль відіграє УЗ в процесі виробництва цементу: краще подрібнюється цементний клінкер.

Останнім часом все ширше використовується УЗ для прискорення технологічних процесів в харчовій промисловості: соління м'ясних виробів, виготовлення овочевих консервів пюре, майонезу, кремів, маргарину, дозрівання сиру і т.п.

Широко використовується УЗ і в процесі висушування, особливо це важливо в фармацевтичній і хімічній промисловості, де висушування при високих температурах може призвести до розпаду і руйнування речовин. При висушуванні УЗ коливання поширюються назустріч руху матеріалу який висушується.

Важливу роль відіграє ультразвук під час виробництва цементу. Якщо при подрібненні цементного клінкеру використовувати УЗ, то подрібнений цемент стає дисперсним, що значно покращує його властивості.

З кожним днем в машино- і приладобудуванні все ширше використовують тверді і крихкі конструкційні матеріали, такі як надтверді сплави, загартовані сталі, кераміка, скло, алмаз, кварц і ін. Обробляти їх механічним способом (різанням) на металорізальних верстатах за допомогою різальних інструментів дуже важко, а то і зовсім неможливо. За допомогою УЗ різання обробляють матеріали, які проводять електричний струм і які не проводять його: виготовляють отвори, канавки, нарізають різьблення на виробках, виготовлених в основному з тих матеріалів, які мають ударну крихкість (скло, кераміка, надтверді сплави, коштовне каміння і т.д. Невигідно обробляти за допомогою УЗ в'язучі матеріали, такі як мідь, латунь.

Ультразвук допомагає виявити приховані дефекти в деталях, не руйнуючи їх. Поширюючись в металі і потрапивши на своєму шляху на тріщину, ультразвук не може пройти через неї, яким би тонким не був шар повітря в цій тріщині, а відіб'ється, і на екрані приладу з'явиться характерна

зелена лінія. Так само виявляють інші дефекти в металевих виробках та виробках, отриманих з інших конструкційних матеріалів, наприклад з бетону. Прилади для виявлення дефектів називають дефектоскопами.

Ультразвукові дефектоскопи, які виявляють дефекти всередині готових виробів, широко застосовують на металургійних і машинобудівних заводах для контролю якості роторів парових турбін, корпусів і станин машин, деталей двигунів внутрішнього згоряння, зварних швів і т.п. Без дефектоскопів не обходяться на залізницях, в метро, на будівництві електростанцій, газопроводів.

За допомогою УЗ очищають поверхні виробів перед нанесенням покриттів і паянням.

Під дією УЗ прискорюється процес нанесення металевих покриттів з розчинів електролітів на поверхні виробів, що значно покращує їхню якість: покриття стають безпористими, а структура дрібнокристалічною. З використанням УЗ отримують нікелеві, мідні, цинкові, кадмієві, срібні, золоті, хромові та інші захисні покриття. При цьому час нанесення покриття скорочується в 5 разів, крім того, якість покриттів значно підвищується.

За допомогою УЗ лудять і паяють кераміку, зварюють різномірні метали, наприклад алюміній з латунню, метали зі склом і різними пластмасами. Ультразвук допомагає очищати поверхні від порохи і бруду, захищає днища суден від обростання водоростями і черепашками, очищає вихлопні гази від шкідливих домішок. В процесі виробництва сірчаної кислоти за допомогою УЗ вловлюють сірчані гази, які повертаються в технологічний процес, а не забруднюють навколишнє середовище.

Ультразвук використовують військові моряки для виявлення підводних човнів, а також пошуку затоплених.