



9. Silne pola elektryczne i magnetyczne w procesach technologicznych

Status	Zrobione
Assign	

▼ a) zastosowania silnych, stałych pól magnetycznych

Silne pola magnetyczne dzielimy na stacjonarne, quasi-stacjonarne oraz impulsowe.

Rodzaj pola	Natężenie pola	Czas trwania
Stacjonarne	$5T < B < 50T$	sekundy
Quasi-stacjonarne	$50T < B < 100T$	milisekundy
Impulsowe	$100T < B < 2500T$	mikrosekundy

Stale pola magnetyczne wytwarzane są przez elektromagnesy bezrdzeniowe - bezrdzeniowe dlatego, że ferromagnetyki wchodzą w nasycenie i wymagają bardzo dużych prądów do dalszego magnesowania.

Istnieje kilka zastosowań silnych pól magnetycznych. Można wśród nich wymienić:

- **lewitację magnetyczną**: unoszenie materiału w polu magnetycznym
- **separatory magnetyczne**: analogicznie do elektrostatycznych, służą do rozdzielania materiałów o różnych właściwościach magnetycznych; wyróżnia się tu separatory gradientowe i bębnowe
- **akceleratory cząstek**: wykorzystanie siły Lorentza pozwala na znaczne przyspieszenia cząstek, można tu opisać np. **cyklotrony**

Lewitacja magnetyczna

Lewitacja magnetyczna to zjawisko unoszenia się materiału wskutek działania pól magnetycznych przeciwstawiających się siłom grawitacji. Obiekt unosi się w powietrzu. Lewitację magnetyczną zastosowano do opracowania poduszek magnetycznych.

Poduszki magnetyczne to technologia stosowana w pociągach o bardzo dużych prędkościach. W pociągu montuje się magnes, najczęściej nadprzewodzący, natomiast w torach wbudowane są specjalne, zwinięte cewki. Pole magnetyczne z pociągu wywołuje prądy wirowe i wzbudzenie pola magnetycznego w cewkach torów.

W dolnej części cewki powstaje pole innego znaku niż w górnej. Obydwie części cewki powodują pchanie całego pociągu w górę. Dzięki temu pociąg unosi się ponad szyną.

Separatory magnetyczne

Gradientowe separatory magnetyczne wykorzystują silne niejednorodne pola magnetyczne do odseparowywania od siebie materiałów o różnych właściwościach magnetycznych.

Przykładem gradientowego separatora magnetycznego jest ten stosowany w procesie oczyszczania kaolinu. Wata z włókna stalowego jest stosowana jako wkład. W silnym niejednorodnym polu magnetycznym, cząstki ferromagnetyczne z kaolinu są przyciągane do waty, natomiast obojętne magnetycznie cząstki kaolinu opuszczają separator. Wkład z waty jest czyszczony w osobnym procesie. Dużą część takiego separatora stanowi jego układ chłodzenia

Innym przykładem jest oczyszczacz wody przemysłowej. Wewnątrz zbiornika umieszcza się kilka zwojów cewek o przeciwnej biegunowości, które wytwarzają niejednorodne pole magnetyczne. Cewki umieszcza się w naczyniu Dewara w celu zachowania odpowiedniej temperatury. Cząstki zanieczyszczeń kierują się w stronę wylotu zanieczyszczeń w pobliżu magnesu, natomiast oczyszczona woda - neutralna magnetycznie - opuszcza separator. Usuwa się w ten sposób głównie cząstki żelaza i tlenki.

Jeszcze innym procesem jest odseparowywanie siarki od węgla.

Bębnowy separator magnetyczny jest podobny do bębnowego separatora elektrostatycznego - z tym, że rozdziela cząstki o różnych przenikalnościach magnetycznych.

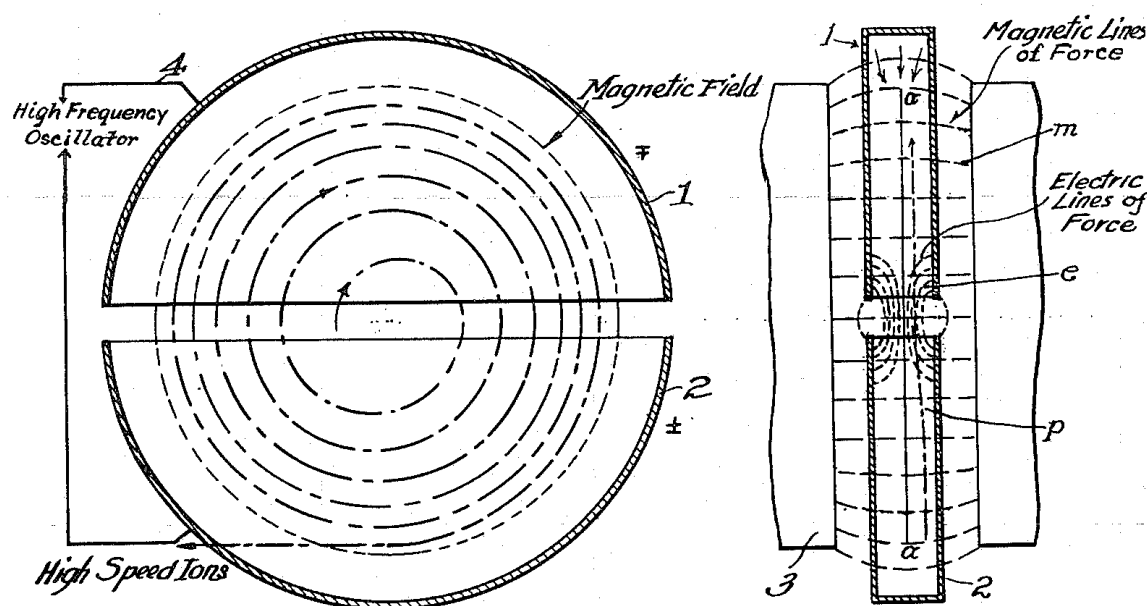
Separator jest zbudowany z bębna aluminiowego, na którym - na magnetowodzie - umieszczone są magnesy trwałe. Gdy separator się obraca, cząstki aktywne

magnetycznie zostają na nim, natomiast cząstki nieaktywne - odpadają.

Na koniec ruchu, magnesy są dezaktywowane i cząstki aktywne opadają grawitacyjnie do zbiornika.

Cyklotrony

Cyklotron to akcelerator cząstek o działaniu cyklicznym, w którym cząstki poruszają się po torze kołowym. Dużą energię kinetyczną cząstkom nadaje się poprzez wykorzystanie silnych pól elektromagnetycznych.



Cyklotron składa się z dwóch elektrod: duantów, oraz z silnego magnesu. Duanty są półokrągłe. Cząstki są rozpędzane przez pole elektryczne między duantami, natomiast ich trajektoria jest wymuszana przez silne magnesy. Cząstki poruszają się po trajektorii kołowej, ponieważ duanty zasilane są naprzemiennie napięciami o przeciwnych polaryzacjach. Na cząstki działają zatem siła odśrodkowa oraz siła Lorentza.

Częstotliwość cyklotronowa to niejako prędkość obrotowa cząstek w cyklotronie i zależy od stosunku ładunku do masy cząstek. Cyklotron może przyspieszać cząstki tylko jednego rodzaju. Cząstki przyspieszane w cyklotronie mogą osiągać prędkości zbliżone do prędkości światła, przy czym pojawiają się wtedy problemy natury relatywistycznej.

Źródła

[1] Materiały z wykładu *Silne pola elektromagnetyczne w procesach technologicznych*

▼ b) pomiary natężeń stałych i wolnozmiennych pól elektrycznych

Pomiar natężenia pola elektrycznego można wykonać kilkoma przyrządami, z czego każdy ma inną zasadę działania:

1. **Indukcyjny miernik natężenia pola:** miernik ten opiera się o zasadę, że pole elektryczne jest związane z ładunkiem na powierzchni badanego materiału. Pole elektryczne na elektrodzie pomiarowej miernika indukuje pewien ładunek, który można pułapkować w mierniku, a następnie przy znanej pojemności kondensatora miernika oraz wartości zmierzonego napięcia, można obliczyć pole elektryczne, które oddziaływało na miernik w chwili pomiaru. Urządzenia te jednak są obarczone problemem z dryftem wskazań. Występuje tu analogia do pomiarów metodą podnoszonej elektrody czy klatki Faradaya.
2. **Indukcyjny miernik pola z układem próbkującym:** działa analogicznie do indukcyjnego miernika pola, z tym że potrafi próbkować odczyt. Odczyt jest tym dokładniejszy, im szybciej zostanie wykonany - bo z czasem, ładunek przyciągnięty przez pole elektryczne zanika.
3. **Młynek polowy:** młynek polowy to przetwornik stałego lub przemiennego pola elektrycznego. W takim mierniku, elektroda pomiarowa jest przesłaniania okresowo przez ruchomą, uziemioną przesłonę. Wywołuje to okresowe zmiany ładunku indukowanego na elektrodzie pomiarowej. Amplituda takiej sinusoidy wyznacza wartość pola elektrycznego, przy czym zmiana pojemności kondensatora pomiarowego pozwala na zmianę zakresu urządzenia.
4. **Młynek polowy z detekcją fazową:** młynek polowy rozwinięty o detekcję fazową różni się przede wszystkim tym, że pokazuje również znak mierzonego pola elektrycznego.
5. **Radioizotopowy miernik pola:** w mierniku tego typu znajduje się pojemnik z materiałem promieniotwórczym, który jonizuje powietrze wokół. Pole elektryczne oddziałujące na miernik wyciąga z niego niejako jony określonego znaku. Jony przeciwne natomiast pozostają - powstaje nierównowaga ładunku. Nierównowaga ta odkłada się na pojemności między pojemnikiem a uziemioną elektrodą zewnętrzną. Zmierzenie ładunku odłożonego na pojemności układu pozwala na określenie natężenia pola elektrycznego. Dla różnych znaków przyjmuje się tu różne stałe miernika.

Wyniki pomiarów zależą od czynników zewnętrznych, takich jak:

- **efekt skupiania linii sił pola:** jeżeli obszar wytwarzający pole jest większy niż powierzchnia elektrody, to elektroda skupia linie sił pola z całego tego obszaru. Działa to analogicznie do układu ostrze-płyta. Wyniki pomiaru są zawyżone. Efekt ten kompensuje się, stosując elektrodę ochronną.
- **uśrednianie rozkładów powierzchniowych:** przy pomiarze pola, mierzymy jego wartość uśrednioną; w różnych odległościach od próbki otrzymujemy wartość uśrednioną dla innego obszaru - więc wskazania mogą się różnić, zwłaszcza gdy na próbce ładunek jest rozmieszczony nierównomiernie
- **uśrednianie rozkładów objętościowych:** miernik mierzy pole elektryczne pochodzące od każdej strony obiektu - czyli jeśli mamy elektret naładowany z dwóch stron, to wynikowy pomiar będzie w przybliżeniu równy 0. Dlatego na czas pomiaru należy neutralizować jeden z tych ładunków, np. przez uziemienie.
- **wpływ przewodzącego i uziemionego otoczenia:** im bliżej obiekt znajduje się od uziemionego ekranu, tym bardziej jego pole elektryczne jest kompensowane przez napływający do ekranu ładunek - czyli wskazanie miernika spada.
- **wpływ pól od innych źródeł:** pole elektryczne jest addytywne, czyli jeżeli w pobliżu obiektu znajdują się inne obiekty wytwarzające pole elektryczne, to mierzymy sumę tych pól; jeśli chcemy znać pomiar tylko dla konkretnego obiektu, pola szybkozmienne można odfiltrowywać urządzeniem pomiarowym, natomiast pola stałe - ekranować.

Źródła

[1] Materiały z wykładu *Silne pola elektromagnetyczne w procesach technologicznych*

[2] Materiały z laboratorium *Silne pola elektromagnetyczne w procesach technologicznych*

▼ c) elektrostatyczne metody pokrywania powierzchni

Malowanie elektrostatyczne

Malowanie elektrostatyczne polega na elektrostatycznym rozpylaniu lakieru i kierowaniu go w stronę malowanego obiektu. Wyróżnia się malowanie elektrostatyczne i malowanie wspomagane elektrostatycznie, przy czym niniejsze opracowanie dotyczy tego pierwszego pojęcia.

W podstawowej wersji, malowanie elektrostatyczne polega na rozpraszaniu dużej ilości lakieru na krople poprzez dostarczenie mu odpowiednio dużej ilości energii, zależnej od napięcia powierzchniowego i gęstości cieczy.

W cieczy lakieru mieszczą się ładunki, trzymane przy sobie **siłami wzajemnego oddziaływania**. Jeżeli w pobliżu cieczy (czyli na dyszy) przyłożone zostanie napięcie (pole elektryczne), indukcja elektryczna powoduje przemieszczanie się tych ładunków cieczy. Przy odpowiednio dużym natężeniu pola elektrycznego, następuje repulsja i powstanie kropeł lakieru wywołanych indukcją. Rozpad cieczy na krople występuje po zgromadzeniu się na powierzchni cieczy ładunku określanego **limitem Rayleigha**.

Malowanie elektrostatyczne można wykonywać pod warunkiem, że rezystywność cieczy jest w odpowiednim zakresie ($5 * 10^4 \Omega m \leq \rho_v \leq 5 * 10^6 \Omega m$).

Naelektryzowane krople lakieru są rozpylane i przyciągane do malowanej powierzchni siłami zwierciadlanego odbicia. Obiekt malowany musi być uziemiony. Proces malowania elektrostatycznego pozwala na efektywne pokrywanie powierzchni lakierem, nawet od tyłu obiektu.

Oprócz indukcji, można stosować również wyładowania koronowe. Pozwalają one na stosowanie materiałów o szerszym zakresie rezystywności skrośnej.

Malowanie proszkowe

Malowanie proszkowe polega na **tryboelektryzacji** cząstek lakieru przez specjalną dyszę, a następnie ich wysłaniu w stronę uziemionego, przewodzącego obiektu. Obiekt, np. grzejnik, przyciąga naładowany elektrostatycznie lakier proszkowy siłami zwierciadlanego odbicia. Po pokryciu proszkiem, malowany obiekt przepuszcza się przez suszarkę, która zespaja lakier.

Warunkiem tego procesu jest odpowiednio duża rezystywność skrośna lakieru proszkowego, większa niż $\rho_v > 10^{13} \Omega m$. Taka rezystywność zapewnia odpowiednio dużą stałą czasową materiału - wystarczająco dużą, by proszek doleciał do obiektu pokrywanego i się na nim zatrzymał.

Oprysk elektrostatyczny

Proces oprysku elektrostatycznego jest analogiczny do malowania elektrostatycznego. Krople rozpyla się za pomocą indukcji lub ulotowo, przy czym zasięg oprysku musi być dużo większy niż zasięg malowania. Żeby móc sterować trajektorią cząstki, trzeba zapewnić odpowiednio duże siły elektrostatyczne, przewyższające działanie sił grawitacji.

Podstawowym parametrem w procesie oprysku jest masowa gęstość ładunku w materiale. Musi ona przekraczać wartość 2 mC/kg, żeby proces oprysku był efektywny.

Istotną różnicą między opryskiem a malowaniem jest to, że pestycydy służące do oprysku mają dużo mniejszą rezystywność.

Ulotowe ładowanie cząstek polega na przepuszczaniu ich przez obszar działania silnego pola elektrycznego. Indukcyjne - jak opisano przy malowaniu - przez przepuszczanie ich niejako przez obszar kondensatora.

Flokowanie

Flokowanie to proces pokrywania powierzchni flokiem, czyli niewielkimi włóknkami o wielkości rzędu kilkuset mikrometrów oraz właściwościach półprzewodzących. Włókna floku są najpierw indukcyjnie ładowane, a następnie to samo pole, które je naładowało, odpycha je w kierunku materiału. Podczas tego przelotu, ustawiają się zgodnie z kierunkiem linii sił pola. Gdy flok dotknie powierzchni pokrywanej, pokrytej klejem, ustawia się pionowo. Po pierwsze dlatego, że ma trochę ładunku (relatywnie duży czas rozładowania), po drugie - jest odpychany od pozostałych naładowanych włókienek.

Produkcja papierów ściernych

W procesie produkcji papieru ściernego, na półprzewodzącym pasie przemieszcza się materiał (węgiel krzemu). Pod pasem umieszczona jest elektroda wytwarzająca pole elektryczne. Cząsteczki ustawiają się prostopadle do pasa długą osią. Gdy dociera do nich ładunek z taśmy, ładują się, a następnie lecą zgodnie z kierunkiem sił pola (np. do góry). Na górze jedzie druga taśma, tym razem z materiałem pokrytym klejem. Materiał ścierny w ten sposób pokrywa materiał pokryty klejem i powstaje papier ścierny.

Źródła:

[1] Materiały z wykładu *Energooszczędne technologie w przemyśle*

▼ d) elektrofiltry i separatory elektrostatyczne

Elektrofiltry

Elektrofiltry służą do odpylania spalin, zwłaszcza w elektrowniach. Wewnątrz elektrofiltru umieszczona jest elektroda ulotowa, natomiast obudowa elektrofiltru stanowi elektrodę uziemioną. Na cząstki zanieczyszczeń w polu wyładowania nanoszony jest ładunek, który następnie odpycha je od elektrody ulotowej i przylegają one do elektrody uziemionej.

Po dotknięciu elektrody uziemionej, cząstki pyłów rozładowują się i opadają do zbiornika.

W elektrofiltrach stosuje się napięcia rzędu 80-100 kV. Przy niewielkich prądach osiąga się sprawność większą od 90%. Ograniczeniem elektrofiltru jest rezystywność pyłów: przy zbyt dużej, cząstki nie odpadają od elektrody uziemionej i może wystąpić zjawisko wyładowania wstecznego, co znacznie obniża sprawność procesu odpylania.

Separatory elektrostatyczne

Separatory elektrostatyczne oddzielają od siebie materiały o różnych parametrach elektrycznych, np. oddzielanie zmielonych kabli na miedź i izolację.

W **separatorach strumieniowych** cząstki zsypywane są na ruchomą powierzchnię, na której elektryzują się przez tryboelektryzację. Następnie wpadają w obszar pola elektrycznego, w którym cząstki naładowane w locie opadają w określonym kierunku.

W **separatorach bębnowych**, cząstki są ładowane przez elektrodę ulotową (koronowo). Naładowane cząstki - czyli te o dużej rezystywności skrośnej - przyczepiają się do obracającego się bębna, natomiast cząstki o małej rezystywności szybko rozładowują się i opadają. Na cząstki działa siła elektrostatyczna, siła grawitacji oraz siła odśrodkowa. Zależnie od proporcji tych sił i prędkości obracania się bębna, cząstki odpadają w różnych chwilach na różne odległości od bębna, do odpowiednich pojemników.

Źródła

[1] Materiały z wykładu *Silne pola elektromagnetyczne w procesach technologicznych*

[2] Materiały z wykładu *Energooszczędne technologie w przemyśle*