

Zasada pomiaru pirometrycznego

Postępy w technice elektronicznej i detekcyjnej doprowadziły do powstania różnorodnych termometrów na podczerwień (IR) do zastosowań przemysłowych i naukowych. Zrozumienie podstawowych różnic pomiędzy nimi jest ważne dla wyboru odpowiedniego urządzenia do określonego zastosowania.

Fizyka podczerwieni

Energia jest promieniowana przez wszystkie obiekty o temperaturze większej niż zero absolutne. Energia ta rośnie w miarę jak obiekt staje się cieplejszy, co pozwala na pomiar temperatury poprzez pomiar promieniowanej energii, szczególnie promieniowania w części widma elektromagnetycznego określanego jako podczerwień.

Widmo elektromagnetyczne

Promieniowanie podczerwone jest częścią widma elektromagnetycznego, które obejmuje fale radiowe, mikrofałe, światło widzialne, nadfiolet, promieniowanie gamma i promieniowanie rentgenowskie.

Te różne postacie energii są podzielone na kategorie w zależności od częstotliwości lub długości fal.*

Należy zauważyć, że światło widzialne rozciąga się od 0,4 do 0,7 mikrona, przy promieniowaniu nadfioletowym (UV) o falach krótszych niż 0,4 mikrona i promieniowaniu podczerwonym o falach dłuższych niż 0,7 mikrona, rozciągającym się do kilkuset mikronów. W praktyce, do pomiarów temperatur metodą IR wykorzystuje się zakres 0,5 do 20 mikronów.

Prawo Plancka

Na podstawie prawa Plancka, amplituda (intensywność) promieniowanej energii może być wykreślona jako funkcja długości fali. Powierzchnia pod każdą z krzywych reprezentuje sobą całkowitą energię wypromieniowaną w odnośnej temperaturze.

Należy zauważyć, że w miarę powiększania się temperatury następują dwie zmiany: (1) rośnie amplituda krzywej, zwiększając powierzchnię (energię) poniżej niej oraz (2) długość fali związana z energią szczytową (najwyższym punktem krzywej) przesuwa się ku krótszym długościom fal. Zależność ta jest opisana przez prawo przesunięć Wiena:

$$\lambda_{\max} = 2,89 \times 10^3 / T$$

gdzie:

λ_{\max} = długość fali o największej energii w mikronach,

T = temperatura w Kelvinach.

Na przykład, długość fali o energii szczytowej emitowanej przez obiekt w 2617 stopniach Celsjusza (2890 Kelvinów) wynosi:

$$\lambda_{\max} = 2,89 \times 10^3 / 2890K = 1,0 \mu m$$

Inna ilustracja związana jest z podgrzewaniem kęsa stalowego. Przy około 1100°F (600°C), stal emituje matową, czerwoną poświatę. W miarę jak temperatura rośnie, kolor zmienia się z czerwonego na pomarańczowy i żółty, w miarę jak szczyt przemieszcza się w głąb widma światła widzialnego. Na koniec, energia emitowana w całym widmie widzialnym jest na tak wysokim poziomie, że stal świeci się światłem białym przy około 3000°F.

Ponieważ szczyt energii przemieszcza się w miarę jak rośnie temperatura, wybór optymalnej części widma jest ważny dla uzyskania zadowalających osiągnięć termometru na podczerwień.

Emisyjność

Emisyjność (współczynnik emisji) jest definiowana jako stosunek energii wypromieniowanej przez obiekt w określonej temperaturze do energii wyemitowanej przez idealne źródło promieniowania, albo ciało czarne, w tej samej temperaturze. Emisyjność ciała czarnego wynosi 1,0. Wszystkie wartości emisyjności zawierają się w granicach 0,0 do 1,0.

Emisyjność (E), główny lecz nie niemożliwy do kontrolowania czynnik w pomiarach temperatury metodą IR, nie może być zignorowana. Związane z emisyjnością są współczynnik odbicia (R), miara zdolności obiektu do odbijania energii w zakresie podczerwieni, oraz współczynnik przepuszczalności (T), miara zdolności obiektu do przepuszczania energii w zakresie podczerwieni. Ponieważ całe promieniowanie musi

być albo przepuszczone, albo odbite, albo zaabsorbowane to:

$$A + R + T = 1,0$$

Rozważmy przykład. Objekt X jest gorącym blokiem materiału, Y jest zimniejszy, dlatego też, ciepło będzie promieniowane z X do Y. Jakaś część ciepła będzie przez Y zaabsorbowana, jakaś odbita, a jakaś przepuszczona przez Y. Te trzy części muszą w sumie dać 100%, reprezentowane jako 1,0 dla współczynników absorpcji, odbicia i przepuszczalności. Jeżeli $A = 1,0$, wówczas całe ciepło jest absorbowane; jeżeli $R = 1,0$, wówczas $A = T = 0$. Zazwyczaj istnieją pewne kombinacje tych współczynników:

$$A = 0,7 \text{ (70\% absorpcji)}$$

$$R = 0,2 \text{ (20\% odbicia)}$$

$$T = 0,1 \text{ (10\% przepuszczania)}$$

Suma = 1,0 (100% energii wypromieniowanej od X do Y)

Jeżeli dany obiekt jest w stanie równowagi cieplnej, nie staje się on ani cieplejszy ani zimniejszy; ilość energii jaką on emituje musi być równa ilości energii jaką absorbuje, tak więc $A = E$ (emisyjność). Z podstawienia otrzymujemy:

$$E + R + T = 1,0$$

Jeżeli jakiegokolwiek dwie z tych wartości są znane, trzecia jest łatwa do określenia.

Przepuszczanie

W niektórych zastosowaniach, szczególnie w wypadku szkła i cienkich tworzyw sztucznych, przepuszczalność staje się bardzo ważnym czynnikiem. Jeżeli potrzebne jest zmierzenie temperatury tych substancji przy użyciu metody IR, musi być wybrana długość fali, przy której materiał jest nieprzezroczysty lub prawie nieprzezroczysty. Często pożądanym jest pomiar temperatury pod powierzchnią jakiegoś obiektu. Jest to możliwe, kiedy materiał jest częściowo przezroczysty na długości fali pomiaru. W przeciwnym wypadku, wybór długości fali, na której materiał jest nieprzezroczysty, minimalizuje błędy powstałe w rezultacie docierania do termometru energii przepuszczonej przez dane ciało. Jeżeli pożądanym jest dokonywanie pomiarów temperatury obiektów poprzez okienko szklane lub kwarcowe, muszą być wykorzystane fale stosunkowo krótkie, w celu skorzystania ze zdolności takich okienek do przepuszczania dużego procentu energii w zakresie podczerwieni o tych długościach fal.

Absorpcja atmosferyczna

Jednym z pierwszych warunków branych pod uwagę przy wyborze zakresu widmowego (zakresu długości fal, w którym przyrząd jest czuły na promieniowanie podczerwone) jest absorpcja atmosferyczna. Pewne składniki atmosfery, takie jak para wodna, CO₂ i inne materiały pochłaniają promieniowanie podczerwone o określonych długościach fal, zwiększając ilość energii absorbowanej wraz z odległością pomiędzy mierzonym obiektem a przyrządem pomiarowym. Dlatego też, jeżeli te czynniki absorbujące zostaną zignorowane, przyrząd może odczytywać temperaturę, kiedy będzie znajdował się blisko obiektu, lecz wskaże o kilka stopni mniej z odległości kilku stóp, ponieważ wyświetlana temperatura będzie stanowić wartość średnią temperatury obiektu i temperatury atmosfery. Na odczytywaną wielkość mogą wpływać zmiany wilgotności lub obecność pary albo określonych innych gazów. Na szczęście, istnieją "okna" w widmie promieniowania podczerwonego, które pozwalają na pomijanie tych absorpcji.

Optyka

Wielkość celu i jego odległość mają istotne znaczenie dla dokładności większości termometrów IR. Każdy przyrząd IR posiada pole widzenia (FOV - field of view), kąt patrzenia, dla którego będzie on uśredniał wszystkie widziane temperatury.

Obiekt A wypełnia całe pole widzenia czujnika; jedyna obserwowana temperatura to temperatura obiektu A, toteż temperatura obiektu A będzie wskazana dokładnie. Lecz jeżeli obiekt A zostanie usunięty, pole wypełni po części obiekt B, a po części ściana. Wskazywana temperatura będzie wartością leżącą gdzieś pomiędzy temperaturą obiektu B a temperaturą ściany i będzie zależęć od wzajemnego stosunku każdej z tych powierzchni wypełniających kołowe pole widzenia. Jeżeli pożądanym jest pomiar temperatury obiektu B, musi być wykonana jedna z czterech poniższych rzeczy:

1. Przemieszczenie termometry bliżej obiektu B lub odwrotnie.

2. Zwiększenie obiektu B w takim stopniu, że wypełni FOV termometru.
3. Zmniejszenie kompensacji emisyjności (opisane w dalszej części), w celu skompensowania straty energii.
4. Użycie termometru o mniejszym FOV.

Pole widzenia jest opisane albo za pomocą jego kąta albo za pomocą stosunku odległości do rozmiaru (D:S). Jeżeli $D:S = 20:1$ oraz jeżeli odległość do obiektu podzielona przez średnicę obiektu wynosi dokładnie 20, wówczas ten obiekt całkowicie wypełnia pole widzenia przyrządu. Stosunek D:S wynoszący 60:1 odpowiada kątowi widzenia 1° .

Ponieważ większość termometrów IR posiada optykę o stałej ogniskowej, minimalna plamka pomiarowa wypada na wyspecyfikowanej odległości ogniskowej. Typowo, jeżeli przyrząd posiada optykę stałoogniskową o stosunku D:S równym 120:1 i ogniskowej 60 cali, minimalna plamka (rozdzielczość) jaką może osiągnąć przyrząd wynosi 60 podzielone przez 120 albo 0,5 stopy na odległości 60 stóp od przyrządu. Jest to ważne, kiedy rozmiar obiektu jest bliski wielkości plamki jaką może zmierzyć przyrząd.

Większość termometrów IR ogólnego przeznaczenia posiada ogniskową w granicach między 20 cali a 60 cali (50 i 150 cm); specjalne przyrządy krótkoogniskowe mają ogniskową 0,5 cala do 12 cali i mogą być wyposażone w przyrząd celowniczy z plamką świetlną gwarantujący, że przyrząd będzie mierzył dokładnie tę plamkę o jaką chodzi. Niektóre przyrządy o dużym zasięgu do kontroli izolatorów i transformatorów w węzłach energetycznych posiadają ogniskową 50 stóp. Przy większych odległościach lub małych plamkach wykorzystywane są lunety celownicze. Niektóre termometry IR zawierają optykę o zmiennej ogniskowej, w szczególności wysoce precyzyjne termometry ze stałą podstawą montażową i optyką typu "lustrzanka jedno obiektywowa".

Alternatywnie, wykorzystywane są światłowodowe układy optyczne w zastosowaniach specjalnych, kiedy nie ma wystarczająco dużo miejsca na zamontowanie głowicy czujnikowej, albo kiedy silne zakłócenia o częstotliwościach radiowych (RFI) mogą spowodować błędne odczyty.

Emisyjność

Idealna powierzchnia do pomiarów temperatury metodą IR powinna mieć emisyjność 1,0. Taki obiekt nazywany jest ciałem czarnym lub ciałem idealnie promieniującym/absorbującym. W wypadku takich obiektów $R = T = 0$. Termin "ciało czarne" jest nieco mylący, ponieważ kolor, jako pojęcie związane ze znacznie krótszymi falami zakresu widzialnego, w zakresie podczerwieni nie ma sensu. Jednakże w praktyce, większość ciał jest albo ciałami szarymi (które mają emisyjność mniejszą od 1,0, lecz taką samą na wszystkich długościach fal), albo ciałami nie szarymi (które mają emisyjności zmieniające się w zależności od długości fal oraz/albo temperatury). Ten ostatni rodzaj obiektu może powodować poważne problemy w dziedzinie dokładności pomiarów temperatur, ponieważ większość termometrów IR matematycznie przekształca zmierzoną energię podczerwieni na temperaturę. Jako że obiekt o emisyjności 0,7 emituje tylko 70% dostępnej energii, temperatura wskazywana będzie niższa niż temperatura rzeczywista. Producenci termometrów IR zazwyczaj rozwiązują ten problem instalując kompensator emisyjności, kalibrowany regulator wzmocnienia, który zwiększa wzmocnienie sygnału z detektora podczerwieni tak aby skompensować stratę energii spowodowaną przez emisyjność mniejszą od jedności. Ta sama regulacja może być wykorzystana do skorygowania strat przy przechodzeniu promieniowania podczerwonego przez okienka, dym, pył lub opary. Na przykład, ustawienie kompensatora na 0,5 dla obiektu o takiej emisyjności spowoduje zwiększenie wzmocnienie o współczynnik równy 2. Jeśli okienko wziernikowe jest wykorzystywane do celowania termometru na obiekt znajdujący się w komorze próżniowej, a współczynnik przenoszenia energii przez to okienko wynosi 40% ($T = 0,4$), błędy nakładają się na siebie, tak że ustawienie netto kompensatora powinno wynieść $0,5 \times 0,4 = 0,2$. Wynikłe z tego wzmocnienie równe 5 skompensuje wszystkie straty energii.

Emisyjność a długość fali

W wypadku wielu materiałów, szczególnie organicznych, emisyjność nie zmienia się znacznie wraz z długością fal. Inne materiały, takie jak szkło i cienkie folie z tworzyw sztucznych, wykazują znaczne straty przenoszenia energii podczerwieni na niektórych długościach fal, szczególnie w zakresie fal krótszych. Zostanie to omówione później.

Metale, prawie we wszystkich wypadkach, wykazują się większym współczynnikiem odbicia na dłuższych falach, stąd ich emisyjność poprawia się wraz ze skracaniem się długości fal. Problemy powstają w wypadku metali o niskich temperaturach, gdy najkrótsza użyteczna długość fali zależy od punktu, w którym ilość istniejącej energii jest niewystarczająca do wytworzenia odpowiedniego sygnału wyjściowego z detektora. W takich wypadkach konieczny jest kompromis. Dalsze omówienie tego problemu zawarte jest w części poświęconej zastosowaniom termometrów IR do pomiarów temperatur metali.

Określanie emisyjności

Emisyjność większości substancji organicznych (drewno, materiały tekstylne, tworzywa sztuczne itp.) wynosi w przybliżeniu 0,95. Metale o gładkiej wypolerowanej, powierzchni mają emisyjności dużo niższe od 1,0. Emisyjność materiału może być określona w jeden z następujących sposobów:

1. Nagrząć w piecu próbkę materiału do znanej temperatury, określonej za pomocą precyzyjnego czujnika umieszczonego w tym piecu, oraz zmierzyć temperaturę obiektu termometrem IR. Użyć regulacji kompensatora emisyjności do wymuszenia wskazania poprawnej temperatury. Stosować tę wartość emisyjności w późniejszych pomiarach tego materiału.
2. W wypadku stosunkowo niskich temperatur (do około 500°F lub 250°C), kawałek taśmy maskującej może być umieszczony na powierzchni obiektu i mierzona jest temperatura tej taśmy maskującej za pomocą termometru IR z nastawą emisyjności równą 0,95. Następnie, należy zmierzyć temperaturę obiektu i tak wyregulować kompensator emisyjności aby wyświetlacz pokazał poprawną temperaturę. Stosować tę wartość emisyjności w późniejszych pomiarach tego materiału.
3. W wypadku bardzo wysokich temperatur, można w obiekcie wywiercić otwór o głębokości co najmniej 6 razy większej od średnicy. Taki otwór zachowuje się jak ciało czarne o emisyjności równej w przybliżeniu 1,0, a temperatura odczytana przy wycelowaniu termometru IR do wnętrza tego otworu będzie poprawną temperaturą obiektu. Tak jak w przypadku 2, należy użyć kompensatora emisyjności do określenia prawidłowej nastawy przy późniejszych pomiarach temperatury tego obiektu.
4. Kiedy część powierzchni obiektu może być pomalowana, matowa, czarna farba będzie miała emisyjność równą około 1,0. Mogą być również zastosowane inne powłoki niemetaliczne, takie jak smar do form, napylenie proszku do pieczenia, dezodorantu i innych. Należy zmierzyć znaną temperaturę jak poprzednio i wykorzystać regulator emisyjności do określenia prawidłowej wartości emisyjności.
5. Dla większości materiałów dostępne są znormalizowane wartości emisyjności. W sprawie szczegółowych wykazów emisyjności, patrz "Parametry promieniowania cieplnego" (tomy 7, 8 i 9) autorstwa Y.S. Touloukian i D.P. DeWitt, opublikowane przez IFI/Plenum Data Corporation, filię Plenum Publishing Company, 227 West 17th St., New York, New York 10011.

Czułość widmowa- termometry IR szerokopasmowe, wąskopasmowe i stosunkowe

Jednym ze sposobów podziału termometrów IR na kategorie jest posłużenie się kryterium pasma długości fal, to jest, szerokości obejmowanego widma podczerwieni. Najczęstszym podejściem konstrukcyjnym jest wybór jakiegoś wąskiego pasma podczerwieni, optyczne odfiltrowanie tego pasma na wejściu urządzenia, tak aby mierzyło tylko energię w tym paśmie oraz całkowanie energii padającej na detektor tylko w tym paśmie. Wiele przyrządów ogólnego przeznaczenia korzysta z szerokiego pasma, ponieważ dostępna jest odpowiednia ilość energii i wymagane są tylko wzmacniacze o niskim wzmocnieniu. Niektóre niezbyt drogie przyrządy obejmują większość pasma podczerwieni z zakresu 0,7-20 mikrona, kosztem bycia "czułymi na odległość", ponieważ pasmo to obejmuje niektóre obszary pochłaniania atmosferycznego. Termometr, który wyklucza te pasma pochłaniania pozwala na uniknięcie tych problemów. Do celów specjalnych można wybrać bardzo wąskie pasma. Przyrządy takie są droższe, ponieważ potrzebne są bardziej stabilne wzmacniacze o wysokim wzmocnieniu do wzmocnienia słabszych sygnałów uzyskiwanych z detektorów odbierających energię w wąskim paśmie. Jednakże, mogą one być użyte zarówno w pomiarach ogólnego przeznaczenia jak i w zastosowaniach specjalnych. Zdolność przyrządów wąskopasmowych do pomiaru niskich temperatur może być cośkolwiek ograniczone ze względu na niskie poziomy energii z jakimi mamy tu do czynienia.

Trzecim rodzajem termometru jest termometr stosunkowy albo dwukolorowy. Taki przyrząd mierzy stosunek energii w dwóch wybranych wąskich pasmach. Jeżeli zmiana emisyjności na tych dwóch wybranych długościach fal jest taka sama, wpływ emisyjności zostaje wyeliminowany, co wiąże się z określonymi korzyściami.

Co więcej, cel nie musi wypełniać pola widzenia, jak to jest w wypadku przyrządów jednokolorowych. Jeżeli cel, który akurat wypełnia pole widzenia zostanie przecięty na pół, połowa energii zostanie stracona dla detektora i przyrząd jednokolorowy wskaże za małą temperaturę. W wypadku przyrządu dwukolorowego, jeżeli energia na obu długościach fal zostanie zmniejszona a ich stosunek pozostanie taki sam, odczyt temperatury pozostanie nie zmieniony. Korzyścią wynikającą z tej właściwości jest to, że jeżeli

obłok pyłu lub dymu zasłoni cel, promieniowanie docierające do termometru może być zmniejszone, ale odczyt nie będzie się zmieniał tak długo jak długo stosunek energii pozostanie stały.

W praktyce, emisyjność na dwóch długościach fal może nie zmieniać się w podobny sposób. Producenci termometrów dwukolorowych rozwiązują ten problem za pomocą regulacji kalibratora stosunku, podobnej do regulacji kompensatora emisyjności w przyrządach jednopasmowych. Regulacja ta jest używana do kalibracji przyrządu w bardzo podobny sposób do opisanego wcześniej w odniesieniu do kompensatora emisyjności. Jednakże, sprawdza się to tylko dla jednego określonego materiału i często wyłącznie w pobliżu określonej temperatury. Dlatego też, o ile cel nie jest rzeczywistym ciałem szarym, zalety termometru stosunkowego w porównaniu do urządzenia jednokolorowego są wątpliwe.

W wypadku zmniejszonej powierzchni celu (przy celu nie wypełniającym pola widzenia lub zasłoniętym przez pył lub dym), przyrząd jednokolorowy może zapewniać właściwe odczyty dzięki regulacji kompensatora emisyjności niwelującego straty. Ta regulacja może być użyta wobec dowolnego rodzaju strat energii w systemie, pod warunkiem, że wielkość strat jest stała. Termometr stosunkowy wykazuje przewagę wyłącznie gdy straty zmieniają się w trakcie procesu, albo w sytuacji kiedy zmienianie regulacji emisyjności nie jest wykonalne. Jeżeli regulacja musi być wykonana tylko raz, użytkownik nie musi wydawać dodatkowych pieniędzy na przyrząd dwukolorowy.

Podsumowując, termometr dwukolorowy jest lepszy przy pomiarach (1) ciał szarych o zmiennej lub nieznannej emisyjności oraz (2) celów o zmiennym wypełnieniu pola widzenia ze względu na zmieniający się rozmiar lub odległość, zmienne stężenie pyłu lub dymu albo osadzanie się zanieczyszczeń na okienku wziernikowym. Zastosowanie przyrządu dwukolorowego jest uzasadnione ekonomicznie, tylko kiedy wymagają tego szczególne okoliczności. Co więcej, w pewnych zastosowaniach, osiągi mogą być gorsze w stosunku do przyrządów jednokolorowych, jeżeli stosunek emisyjności nie jest stały.

Widmo dla niskich temperatur (poniżej 1000°F/500°C)

Najpopularniejszym pasmem do ogólnych pomiarów temperatur do 1000°F jest 8-14. Jest to pasmo szerokie, dające wystarczającą ilość energii, nawet w temperaturach bliskich temperatury zamarzania i nie występuje w nim pochłanianie atmosferyczne. Wykorzystanie obejmuje diagnostykę konserwacyjną, wszystkie procesy organiczne (papier, drewno, guma, materiały tekstylne, rolnictwo), grube tworzywa sztuczne, powierzchnie szklane (jeżeli odbicia od intensywnych źródeł ciepła nie stanowią problemu), dobrze oksydowane metale i metale w temperaturze bliskiej temperatury otoczenia (jeżeli nie przeszkadzają odbicia). Jest to jedyny rodzaj termometru IR odpowiedniego do pomiarów poniżej temperatury otoczenia.

Widmo dla średnich temperatur (200-1500°F/100-800°C)

Jednym z preferowanych pasm krótkofalowych penetrujących atmosferę, płomień i gazy jest region 3,8 mikrona. Jest to najlepszy kompromis dla metali o niskiej temperaturze, ponieważ stosowanie przyrządów na zakresy o mniejszej długości fal jest ograniczone do wysokich temperatur.

Widmo dla wysokich temperatur (POWYŻEJ 600°F/300°C)

Innym pasmem stanowiącym okno atmosferyczne i odznaczającym się niskim pochłanianiem przez płomień, będącym idealnym do pomiarów temperatury jest region 2,2. To wąskie pasmo jest szczególnie dobrze dostosowane do pomiarów wysokich temperatur.

Przyrządy specjalnego przeznaczenia

METAL: Metale stwarzają pewne szczególne problemy przy pomiarach metodą IR. Na pierwszy plan wysuwa się fakt, że większość metali ma wysokie współczynniki odbicia (o ile nie są dobrze oksydowane), a stąd mają niskie emisyjności. Niektóre z tych emisyjności są tak niskie, że dużą część odbieranej przez czujnik energii stanowi energia odbita (zazwyczaj pochodząca od grzejników, płomieni, odbijających ścian itp.) Może to doprowadzić do uzyskiwania zmiennych i niewiarygodnych rezultatów pomiarów. W odniesieniu do większości metali, problem ten narasta przy większych długościach fal.

Do pomiarów powinny być wykorzystywane możliwie jak najkrótsze długości fal, emisyjność większości metali poprawia się wraz z maleniem długości fal.

Przy mniejszych długościach fal, taka sama zmiana emisyjności daje mniejszą zmianę wskazywanej temperatury, co prowadzi do dokładniejszych pomiarów w warunkach występowania zmian emisyjności. Możliwość korzystania z jak najkrótszych fal ograniczają dwa czynniki: (1) najniższa temperatura jaka musi być mierzona; jak można zobaczyć z krzywych promieniowania dla ciała czarnego, im krótsza jest długość fali, tym na tej długości fali dostępne jest mniej energii, oraz (2) pożądana szerokość zakresu mierzonych temperatur. W miarę jak zmniejsza się długość fal, różnica poziomów energii między dwiema określonymi temperaturami rośnie i wymagany jest wzmacniacz o szerszym zakresie dynamiki. W pewnym momencie,

wzmocnienie konieczne do uzyskania tego staje się technicznie nieosiągalne. Z tego powodu, musi być dokonany kompromis; należy skorzystać z krótszych fal pozwalających na uzyskanie wymaganego zakresu pomiaru temperatur.

Innymi uwarunkowaniami, koniecznymi do uwzględnienia przy dokonywaniu tego wyboru, mogą być: cena i dostępność przyrządu, obecność gazów i płomieni na linii patrzenia, zdolność do prowadzenia obserwacji poprzez okienka wziernikowe komór próżniowych itp. Optymalna długość fal dla pomiarów metali o wysokich temperaturach leży w bliskiej podczerwieni, w pobliżu 0,8 . Inną możliwością stanowią 1,6 (gdzie niektóre metale mają taką samą emisyjność przy różnych temperaturach), 2,2 oraz 3,8 (oba te pasma są zalecane do odczytów poprzez czyste płomienie). Jeżeli metale są powlekane, dobrze oksydowane lub mogą być czasowo przystosowane do pomiarów przez nałożenie powłoki o dużej emisyjności, mogą być stosowane przyrządy na pasmo 8-14 . Inne rozwiązania kompromisowe dla metali o niskich temperaturach stanowią pasma 3,43 oraz 5,1 .

Widmo dla tworzyw sztucznych

Generalnie, tworzywa sztuczne o grubości większej niż 0,1 cala można mierzyć za pomocą przyrządów na pasmo 8-14. Jednak w wypadku cienkich folii, w paśmie 8-14 tworzywa sztuczne są częściowo przezroczyste. Źródła ciepła po drugiej stronie folii i zmiany grubości będą prowadzić do zmian we wskazaniach temperatur mierzonych metodą IR.

Na szczęście, Istnieją pewne punkty rezonansowe w widmie podczerwieni, w których cienkie folie dla termometrów IR wydają się być nieprzezroczystymi, ze względu na właściwości wiązań cząsteczkowych, które na pewnych długościach fal całkowicie eliminują przepuszczaną energię. Niektóre tworzywa sztuczne (polietylen, polipropylen, nylon, polistyren) są nieprzezroczyste w paśmie 3,43 ; inne tworzywa sztuczne (poliester, poliuretan, teflon, FEP, celuloza, poliamid) są nieprzezroczyste w paśmie 7,9. Niektóre folie są nieprzezroczyste w obu tych pasmach. W drugim wypadku wybór można oprzeć na zależności widmowej współczynnika odbicia, cenie i dostępności przyrządu, albo na tym czy w procesie są stosowane grzejniki kwarcowe (ponieważ grzejniki te mogą spowodować poważne zakłócenia na falach krótszych niż 5). W odniesieniu do tworzyw sztucznych nieprzezroczystych tylko w paśmie 3,43 może być możliwe wykorzystanie słabszego, wtórnego pasma 6,86, w celu uniknięcia zakłóceń pochodzących od grzejników kwarcowych.

Widmo dla szkła

Przemysł szklarski jest tym, w którym różne czynniki związane z pomiarami temperatury metodami IR, szczególnie współczynniki odbicia i przepuszczalności, muszą być dobrze rozumiane, ażeby było możliwe osiągnięcie optymalnych rezultatów. Rysunek 12 ukazuje zależność współczynnika przepuszczalności od długości fali. Generalnie, tafle szklane są nieprzezroczyste poniżej 5 mikronów i stają się coraz to bardziej przezroczyste przy krótszych falach (czego dowodzą wrażenia zauważalne ludzkim okiem) Przyrząd na pasmo 0,8 sięga na kilka cali w głąb stopionego szkła, przyrząd na pasmo 2,2 sięga na około 3-4 cale. Przyrządy korzystające z pasma 3,8 będą mierzyć nie głębiej niż 1 do 2 cali, w zależności od rodzaju szkła, toteż ta długość fali jest doskonała przy pomiarach uśrednionych temperatur porcji stopionego szkła. (Są to wartości dla szkła nie barwionego i należy pamiętać, że warstwa szkła najbliższa powierzchni będzie miała największy udział w odczycie temperatury; szkło barwione będzie bardziej nieprzezroczyste, nawet na krótszych falach.) W odniesieniu do tafli, butelek i innego szkła cienkościennego, muszą być wykorzystywane większe długości fal. Odbicie staje się krytyczne w paśmie 8-14 ; współczynnik odbicia wynosi średnio 15%. Pasma to może być wykorzystywane z dobrym rezultatem przy nastawie emisyjności 0,85. Współczynnik odbicia jest pomijalny w zakresie 5-8 , lecz pasmo 5,1 jest preferowane, jako że większa część detekowanej temperatury odnosi się do kilku milicali poniżej powierzchni, co zmniejsza chłodzący wpływ powierzchniowych prądów konwekcyjnych. Nie zaleca się korzystać z pasma 5-7 , o ile nie może być zagwarantowany brak pary wodnej (z uwagi na pasmo absorpcyjne 5,5 do 7,5); pasmo 7,9 jest idealne do pomiarów powierzchniowych przy braku odbić.

Widmo do pomiarów temperatury płomieni/optimalizacji spalania

Podczas gdy większość przyrządów IR może być wykorzystana do pomiarów temperatur płomieni "zanieczyszczonych", temperatura czystych płomieni (bez zawartości jakichkolwiek cząstek lub dymu) może być mierzona w paśmie 4,5 , gdzie CO₂ i Nox są nieprzezroczyste, pod warunkiem, że te produkty uboczne są obecne w płomieniu i długość drogi dla promieniowania podczerwonego przechodzącego przez płomień przekracza dziesięć cali. Ten sam przyrząd może także być pomocny przy optymalizacji spalania, nawet przy mniejszych płomieniach, ponieważ mogą tam być wykorzystane odczyty względne (odczyty absolutne nie są wymagane).

Termometry montowane na stałe i przenośne

Przyrządy montowane na stałe są generalnie umieszczane w jednym miejscu z zadaniem ciągłego monitorowania lub sterowania określonym procesem. Są one zasilane z miejscowego źródła energii (napięcia przemiennego 110/220 V), są wycelowane w jeden punkt lub skanują jakąś powierzchnię, co jest określone za pomocą mechanicznego przyrządu celowniczego. Często są one wyposażane w przenośną obudowę i mogą być przenoszone z jednego miejsca w drugie. W trakcie produkcji, proces może być nadzorowany poprzez monitorowanie kilku punktów w różnych odstępach czasu. Głowica czujnikowa może być zamontowana na trójnogu, a sygnał wyjściowy przesyłany do rejestratora graficznego lub rejestratora danych, w celu poddania późniejszym analizom.

Jeżeli potrzebne jest urządzenie rzeczywiście przenośne, dostępne są zasilane bateryjnie "pistoletowe" termometry IR, posiadające prawie wszystkie właściwości przyrządów stacjonarnych z wyjątkiem funkcji regulacyjnych. Do ograniczeń związanych z tymi przyrządami należą: konieczność zapewnienia stałego nadzoru przez operatora i konieczność okresowej wymiany baterii. Generalnie, do ich zastosowań należy diagnostyka konserwacyjna, kontrola jakości, okresowe punktowe pomiary temperatur w krytycznych procesach i badania energetyczne.

Warunki krytyczne

Oprócz optyki, zakresu widmowego, emisyjności, zakresu temperatur i sposobu montażu (przyrządy stacjonarne lub przenośne), przy wyborze termometru na podczerwień należy rozważyć następujące uwarunkowania:

1. Czas reakcji:

Przyrząd musi reagować wystarczająco szybko w porównaniu do szybkości zmian zachodzących w procesie, tak aby możliwa była odpowiednia rejestracja lub stabilizacja temperatury. Termometry IR są zazwyczaj szybsze od większości innych przyrządów do pomiaru temperatury, przy typowym czasie reakcji leżącym w granicach 100 milisekund do 1 sekundy.

2. Warunki otoczenia:

Przyrząd musi pracować w zakresie temperatur otoczenia na działanie jakich będzie wystawiany. W celu zapewnienia ochrony przyrządu przed zanieczyszczeniami, pyłami, płomieniami i oparami, muszą być realizowane specjalne przedsięwzięcia. Mogą także być potrzebne przyrządy o konstrukcji bezpiecznej lub przeciwwybuchowej.

3. Fizyczne ograniczenia montażu:

Głowica czujnikowa musi mieścić się w dostępnej przestrzeni w sposób umożliwiający widzenie obiektu. Jeżeli jest to lokalizacja niebezpieczna, ryzyko może być zminimalizowane poprzez użycie głowicy, która zawiera możliwie jak najmniej części (to jest, tylko detektor i czujnik temperatury otoczenia), tak że w razie jakiegoś poważnego wypadku nie będzie konieczna wymiana całego przyrządu. W tego rodzaju przyrządach zazwyczaj wykorzystuje się zlokalizowane w oddalonym miejscu bloki elektroniczne, zawierające większość układów elektronicznych, które mogą być instalowane w bezpiecznej odległości od miejsc niebezpiecznych. Rozwiązania alternatywne obejmują użycie światłowodów, rurek wziernikowych lub zwierciadeł odbijających przeznaczonych do kierowania promieniowania podczerwonego na detektor.

4. Zastosowania z otworem lub okienkiem wziernikowym:

Jeżeli komora próżniowa, specjalna atmosfera lub inny proces wymaga mierzenia temperatury wewnątrz pojemnika poprzez okienko, należy zadbać o to aby to okienko przepuszczało energię podczerwieni na długościach fal wykorzystywanych przez przyrząd do pomiaru temperatury. Szkło będzie przepuszczać fale o długości krótszej niż 3 μm , kwarc w zakresie od 0,5 do 4,5, selenek cynku w zakresie od 2 do 15, german w zakresie 4 do 14 μm . Dla kilku różnych pasm w zakresie 0,5 do 20 μm dostępna jest rodzina materiałów Ir-tranã wyprodukowanych przez firmę Kodak.

Jeżeli potrzebne jest celowanie zarówno w zakresie światła widzialnego jak i podczerwieni, musi być zastosowane okienko z materiału, który będzie przepuszczał zarówno światło widzialne jak i podczerwień. Zakres mierzonych temperatur dyktuje wartość najdłuższej fali jaka musi przechodzić przez okienko, ponieważ długości fal o szczytowej energii rosną w miarę malenia temperatury.

5. Obróbka sygnału:

W przyrządy wbudowywane są różne układy przetwarzania sygnałów, w celu dopasowania sygnału wyjściowego do wyświetlaczy, rejestratorów, sterowników, rejestratorów danych i komputerów. Wyświetlacze, punkty ustawiania alarmów i sterowniki bardzo często stanowią integralną część termometrów IR. Wyświetlacze analogowe są najlepsze w szybko zmieniających się sytuacjach, kiedy śledzenie kierunku zmian jest najważniejsze. Wyświetlacze cyfrowe oferują lepszą czytelność, kiedy sytuacja jest bardziej statyczna albo wykorzystywane są pomiary punktowe.

Funkcje przetwarzania sygnałów obejmują:

Odczyt wartości maksymalnej: Pamięć wartości największej zmierzonej temperatury.

Odczyt wartości minimalnej: Pamięć wartości najmniejszej zmierzonej temperatury.

Odczyt wartości różnicowej: wartość maksymalna minus wartość minimalna.

Temperatura średnia: wartość średnia z wszystkich temperatur zmierzonych w danym okresie czasu.

Zmiana stałej czasowej: umożliwia wygładzanie wyświetlanych wartości temperatur albo sygnału wyjściowego przy pomiarach gwałtownie zmieniających się temperatur.

Sygnał wyjściowy z zabezpieczeniem przeciwwawaryjnym: specjalny sygnał wyjściowy przeznaczony do wyłączenia układu grzewczego w wypadku awarii przyrządu pomiarowego.

Całkowanie energii odbitej: pozwala na wykonywanie obliczeń opartych na dyskretnych sygnałach wejściowych dla niepożądanego energii odbieranej przez przyrząd.

Formaty sygnałów wyjściowych:

Miliwoltowe liniowe lub nieliniowe

Miliamperowe liniowe lub nieliniowe (stałoprądowe)

Równoważnik termopary

BCD

RS-232C

IEEE-488

Nieliniowe napięciowe lub prądowe

Zamknięcie styków dla wstępnie ustawionych progów alarmowania

Regulator proporcjonalny 1, 2 lub 3-modowy

ASCII

Wyjścia samotestujące lub diagnostyczne

Dostępne są różne akcesoria czyniące termometry IR wygodnymi w użyciu i zmniejszające koszty instalacji.

W wypadku przyrządów przenośnych, akcesoria obejmują: torbę do przenoszenia, pasek do noszenia na ramieniu, wizjer do celowania, pasek do przełożenia przez przegub ręki, źródło kalibracyjne, celownik z wiązką świetlną oraz oświetlenie wyświetlacza. Akcesoria do przyrządów instalowanych na stałe obejmują: Rurkę do celowania, kołnierz do przedmuchiwania powietrzem, osłonę chłodzoną wodą, mechanizm poprzecznicowy do skanowania, żaluzję przeciwpłomienną, wspornik montażowy, wspornik obrotowy, obudowę przeciwybuchową lub wewnętrznie bezpieczną oraz punktowe źródła światła do justowania optycznego.