

Porównanie metod pomiaru temperatury pirometrem i termometrem stykowym w operacjach spawalniczych

Comparison of temperature measurements' methods in welding operations using pyrometer and contact thermometer

Streszczenie

Celem artykułu jest porównanie metod pomiaru temperatury z wykorzystaniem pirometru i termometru stykowego, na podstawie przeprowadzonych badań. Próby prowadzone były tak, aby możliwie jak najwierniej odwzorować warunki pomiarów temperatury występujące przy podgrzewaniu do spawania i kontroli temperatury międzyścigowej. Ostatecznym celem dokonanej analizy jest wybór metody bardziej niezawodnej i mniej obciążonej błędem wynikającym z nieprawidłowo prowadzonych pomiarów.

Słowa kluczowe: temperatura, pirometr, termometr stykowy

Abstract

The aim of this article is comparison of temperature measurements' methods using pyrometer and contact thermometer, basing on researches. Tests were executed to map temperature measurements' conditions during preheating and interpass temperature control as accurate as possible. The final aim of the analysis is choice of more reliable method which is less affected by error resulting from improperly executed measurements.

Keywords: temperature, pyrometer, contact thermometer

Wstęp

Spawalnictwo, jak wszystkie dziedziny dzisiejszej techniki, wchodzi na coraz wyższy poziom techniczny i technologiczny. Równolegle rozwijająca się metalurgia niejako dodatkowo ten rozwój wymusza i przyspiesza. Tendencje rozwojowe są nie mniej odczuwalne w poszczególnych gałęziach szeroko pojętego spawalnictwa. Takim to sposobem metalurgia, stawiająca nowym rodzajem stali coraz to większe wymagania, popycha spawalnictwo w kierunku opracowania coraz bardziej szczegółowych technologii spajania tych stali. Jednym z elementów tak opracowywanych technologii jest rygorystyczne utrzymanie temperatury podgrzewania wstępnego i temperatury międzyścigowej. W dalszej konsekwencji taki pęd ku dokładności coraz częściej powoduje eliminowanie z użytku takich sposobów po-

miaru temperatury jak termokredki, na rzecz pomiarów z wykorzystaniem zjawiska Seebecka (zjawisko termoelektryczne, inaczej termoparowe) lub zjawiska promieniowania elektromagnetycznego (cieplnego). Jeżeli celem staje się duża dokładność pomiaru i do jej uzyskania wykorzystywane są coraz bardziej wysublimowane metody, również diametralnie rosną wymagania stawiane osobom obsługującym te urządzenia. W konsekwencji posiadanie odpowiedniej wiedzy i umiejętności przez osoby obsługujące urządzenia pomiarowe staje się koniecznością. Niestety na przestrzeni ostatnich lat, wraz z rozwojem nowych metod pomiarowych, nie zadbano o odpowiednie szkolenie personelu stosującego te metody. W przemyśle pokułtuje przyzwyczajenie z czasów, kiedy metody pomiaru temperatury były dużo prostsze. Tak jak dawniej pomiar przy użyciu termokredki zlecano osobie bez żadnego przeszkolenia w zakresie pomiaru temperatury,

Mgr inż. Michał Scheithauer, mgr inż. Jakub Scheithauer, mgr inż. Katarzyna Scheithauer – „LMS” s.c. T. Macioła, K. Scheithauer.

Autor korespondencyjny/Corresponding author:

tak w dzisiejszych czasach takiej osobie zleca się pomiar przy użyciu pirometru. Konsekwencje takiego postępowania dawniej i dziś są zgoła inne, gdyż pomiar termokredką jest prosty i nie wymaga fachowej wiedzy, natomiast przy użyciu pirometru jest ona niezbędna dla choćby zgrubnego dokonania pomiaru.

Metodyka pomiarów

W celu pokazania rodzajów błędów powstających przy stosowaniu poszczególnych przyrządów pomiarowych zostało stworzone specjalne stanowisko pomiarowe. W jego skład weszła płyta stalowa podzielona na trzy równe pola, różniące się sposobem przygotowania powierzchni. Pierwszy obszar był powierzchnią po piaskowaniu, drugi silnie skorodowaną, a trzeci zgrubnie zabiloną przy użyciu szlifierki i tarczy o granulacji „40”. Do każdego z pól zgrzany został termoelement rejestrujący rzeczywistą temperaturę na badanej powierzchni (rys. 1). Rodzaje powierzchni nie zostały wybrane przypadkowo, ale jako reprezentatywne typów powierzchni stali, które często występują w sąsiedztwie złącza spawanego i może na nich być prowadzony pomiar temperatury. Płyta została umieszczona na elemencie grzewczym (macie grzewczej) i była nagrzewana od 50°C do prawie 600°C. W czasie narastania temperatura była stabilizowana co 50°C – utrzymywana na poziomie 50°C, 100°C, 150°C, ..., 600°C dla do-



Rys. 1. Stan powierzchni płyty stalowej przed rozpoczęciem pomiarów
Fig. 1. Plate surface before measurements



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe, złożone z płyty o trzech różnych powierzchniach, nagrzewającej ją grzałki oraz termoelementów mierzących rzeczywistą temperaturę powierzchni płyty

Fig. 2. Measurement station made by three plates with different state of surface, heater and thermo elements for actual plate surface temperature measurements



Rys. 3. Pirometr.
Fig. 3. Pyrometer



Rys. 4. Termometr stykowy.
Fig. 4. Contact thermometer

konania pomiarów. Termoelementy podłączone zostały do urządzenia rejestrującego ich temperaturę i sterującego równomiernym nagrzewaniem płyty (rys. 2).

Równolegle przeprowadzane były pomiary z wykorzystaniem wysokiej jakości pirometru i termometru stykowego (rys. 3 i 4).

Opisanie istoty prowadzonych pomiarów porównawczych wymagało dokonania kilku założeń. Przyjęto, że termoelement („termopara”) zgrzany do powierzchni jest najdokładniejszym przyrządem pomiarowym używanym w praktyce przemysłowej. Założenie takie wynika z wieloletniej praktyki pomiarowej, a potwierdza to fakt, że dla użytej w tych badaniach termopary typu K klasy 1 tolerancja wynosi $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ dla temperatury od -40°C do 375°C i $0,004 \times [t]$ od 375°C do 1000°C . Zgodnie z tym założeniem pomiary prowadzone przy użyciu termoelementów typu K zgrzanych do powierzchni posłużyły za punkt odniesienia.

Sposób prowadzenia pomiarów zakładał, że cała powierzchnia płyty stalowej musi osiągnąć stabilną temperaturę na określonym poziomie. Stan tego nagrzania i jego równomierność weryfikowana była na podstawie zgrzanych termoelementów, podłączonych do rejestratora cyfrowego. Następnie sprawdzana była temperatura powierzchni przy użyciu termometru stykowego w trzech punktach w bezpośrednim sąsiedztwie zgrzanych termoelementów. Ostatnim i najbardziej złożonym pomiarem był pomiar przy użyciu pirometru. Dla poszczególnych powierzchni ustalana była odpowiednia dla danej temperatury emisyjność, a pomiar ten był prowadzony dwójako – zarówno w sposób bezpośredni, przez dopasowanie emisyjności tak, aby pirometr wskazał tę samą temperaturę, co pomiar z wykorzystaniem termoelementu, jak i w sposób pośredni, czyli przez wykonanie całej serii pomiarów przy różnej emisyjności i z tak pozyskanych danych wyznaczenie emisyjności właściwej.

Przed prezentacją wyników pomiarów celowy jest krótki opis sposobów działania poszczególnych przyrządów pomiarowych.

Przewód termoelektryczny, potocznie zwany termoparą, działa wykorzystując zjawisko Seebecka, czyli pojawienie się napięcia na końcach przewodu metalowego, znajdujących się w różnych temperaturach. Ważne w tym zagadnieniu jest to, że dla każdego metalu czy stopu napięcie jest inne, a pomiar z wykorzystaniem termopary, czyli dwóch przewodów z różnych metali, sprowadza się do pomiaru różnicy napięć na ich końcach i odniesieniu tej różnicy do temperatury zgodnie z określoną charakterystyką. Użycie termoelementu zgrzanego do powierzchni stali i podłączenie go do dobrej jakości przyrządu pomiarowego, przekształcającego zmierzoną wartość napięcia według określonej charakterystyki na wskazanie temperatury i kompensującego temperaturę tzw. zimnego końca, pozwala na bardzo dokładny pomiar temperatury powierzchni stali.

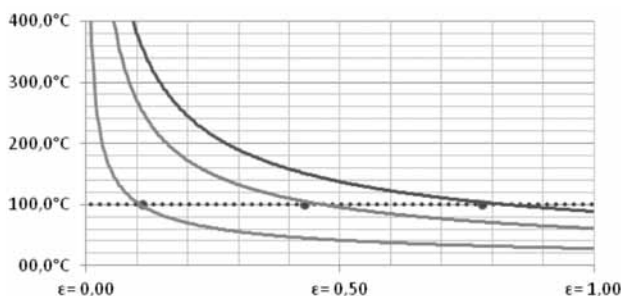
Termometr stykowy również wykorzystuje zjawisko Seebecka (zjawisko termoparowe), ale z jedną bardzo istotną różnicą – w termometrze stykowym wskazywana temperatura nie jest temperaturą metalu, ale przyłożonej do niego blaszki sondy pomiarowej, czego konsekwencją jest nagrzewanie się jednostronnie przytkniętej do gorącego materiału blaszki, z drugiej zaś strony wychładzanie się jej w zimnym powietrzu. W efekcie pomiar, który wykonujemy termometrem stykowym, jest obciążony dodatkowym błędem, tym większym, im większa jest różnica temperatur między nagrzewanym materiałem a otoczeniem oraz im krótszy jest czas pomiaru.

Pirometr wykorzystuje zjawisko emitowania promieniowania cieplnego przez każde ciało stałe o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego (-273,15°C lub 0 K). Intensywność tego promieniowania zależy od temperatury badanego obiektu oraz od jego współczynnika emisyjności. Zwłaszcza w zakresie niskich temperatur do 500°C niewłaściwe ustawienie emisyjności powoduje, że pirometr pokazuje niewłaściwą temperaturę, a sama emisyjność zależy od szeregu czynników – zarówno od materiału badanego ciała, jego struktury, stanu powierzchni, stopnia utlenienia, jak i temperatury. Niewłaściwe ustawienie tego parametru może powodować błędy pomiaru w zakresie setek stopni i to nawet dla tego samego rodzaju materiału znajdującego się w jednakowej temperaturze, a różniące się jedynie stanem powierzchni.

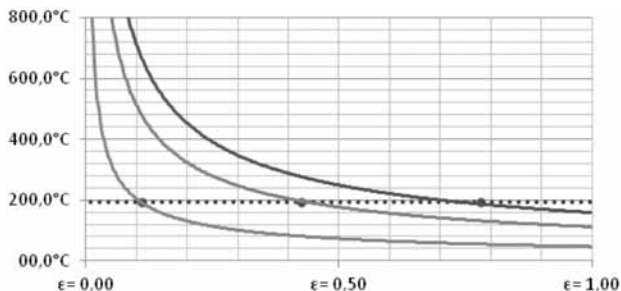
Pomiary

Wyniki pomiarów prowadzonych pirometrem dla dwóch wartości temperatury 100°C i 200°C, jako poziomu temperatur często spotykanych przy podgrzewaniu do spawania, zamieszczono na rysunkach 5 i 6. Wykresy obrazują, jak na wskazania pirometru wpływała zmiana emisyjności dla różnych typów powierzchni, podgrzanych do jednakowej temperatury.

Rysunki te pokazują różnicę wartości emisyjności dla poszczególnych rodzajów powierzchni na tej samej równomiernie nagrzanej płytce stalowej. Wartości te wyznaczono dla poszczególnych powierzchni przez przeprowadzenie serii pomiarów w sposób bezpośredni i pośredni (tabl. I).



Rys. 5. Zmiany wskazań pirometru dla różnych powierzchni nagrzanych do 100°C, przy zmianie ustawień współczynnika emisyjności. Powierzchnia skorodowana – krzywa górna, powierzchnia po piaskowaniu – krzywa środkowa, powierzchnia zabilona – krzywa dolna
Fig. 5. Pyrometer measurements results for various surfaces heated upto 100°C with variable emissivity factor; surface: with corrosion products – upper curve, after sand blasting – middle curve, after hard spotting – lower



Rys. 6. Zmiany wskazań pirometru dla różnych powierzchni nagrzanych do 200°C, przy zmianie ustawień współczynnika emisyjności. Powierzchnia skorodowana – krzywa górna, powierzchnia po piaskowaniu – krzywa środkowa, powierzchnia zabilona – krzywa dolna
Fig. 6. Pyrometer measurements results for various surfaces heated upto 200°C with variable emissivity factor; surface: with corrosion products – upper curve, after sand blasting – middle curve, after hard spotting – lower

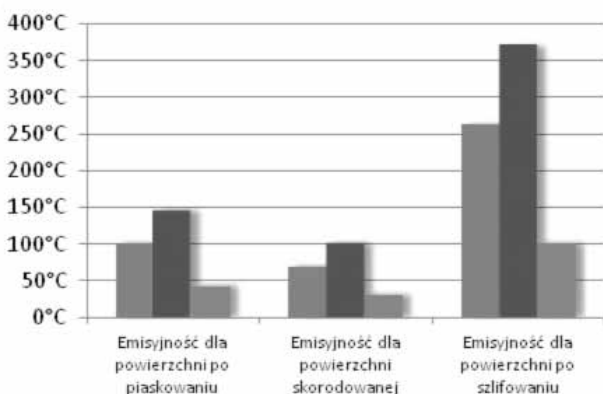
Tablica I. Wartość współczynników emisyjności dla różnych powierzchni i temperatur badania

Table I. Emissivity factor values for various surfaces state and temperatures of test

Stan powierzchni i temperatura	Współczynnik emisyjności wyznaczony wprost	Współczynnik emisyjności wyznaczony analitycznie
po piaskowaniu w 100°C	$\epsilon = 0,43$	$\epsilon = 0,45$
po piaskowaniu w 200°C	$\epsilon = 0,43$	$\epsilon = 0,43$
skorodowana w 100°C	$\epsilon = 0,78$	$\epsilon = 0,81$
skorodowana w 200°C	$\epsilon = 0,78$	$\epsilon = 0,74$
zabilona w 100°C	$\epsilon = 0,11$	$\epsilon = 0,10$
zabilona w 200°C	$\epsilon = 0,11$	$\epsilon = 0,11$

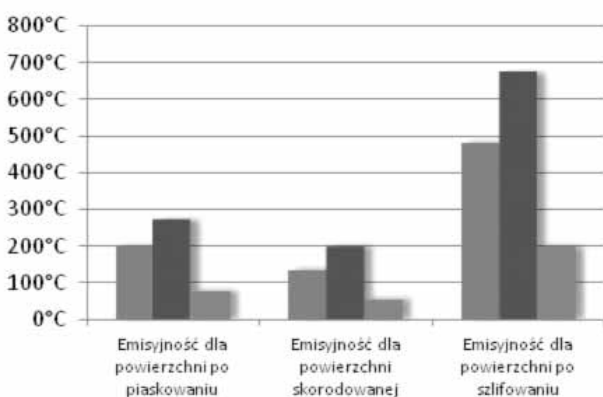
Z danych przedstawionych w tabelicy I wynika różnica współczynników emisyjności w zależności od stanu powierzchni. Co by się stało, gdyby współczynnik emisyjności został prawidłowo ustawiony na jednej z trzech rodzajów powierzchni i użyty na innej? Do zobrazowania tej sytuacji niech posłużą dwa wykresy dla płytki nagrzanej do 100°C i 200°C. Pomiar przeprowadzono, wyznaczając prawidłową emisyjność dla jednej z powierzchni, a następnie dla takich ustawień badając dwie pozostałe powierzchnie (rys. 7).

Wykresy na rysunkach 7 i 8 wskazują wielkość błędów przy niewłaściwym ustawieniu emisyjności. Reasumując, jeżeli element w całości jest nagrzany do 200°C i emisyjność jest prawidłowo ustawiona dla powierzchni po piaskowaniu (wskazanie z pirometru wynosi 200°C), to mierząc powierzchnię skorodowa-



Rys. 7. Wyniki otrzymane z pomiaru pozostałych dwóch powierzchni po prawidłowym wyznaczeniu emisyjności dla trzeciej w 100°C (gdzie: powierzchnia skorodowana – lewy, powierzchnia po piaskowaniu – środkowy, powierzchnia zabilonowana – prawy)

Fig. 7. The results obtained with the other two measurement after proper determination of the surface emissivity for the third at 100°C surface: with corrosion products – left, after sand blasting – middle, after hard spotting – right



Rys. 8. Wyniki otrzymane z pomiaru pozostałych dwóch powierzchni po prawidłowym wyznaczeniu emisyjności dla trzeciej w 200°C (gdzie: powierzchnia skorodowana – lewy, powierzchnia po piaskowaniu – środkowy, powierzchnia zabilonowana – prawy)

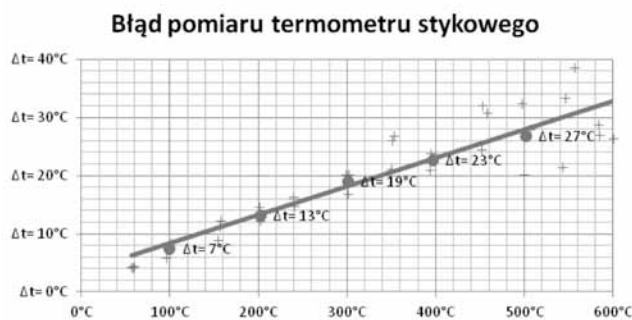
Fig. 8. The results obtained with the other two measurement after proper determination of the surface emissivity for the third at 200°C surface: with corrosion products – left, after sand blasting – middle, after hard spotting – right

ną pirometr pokaże 280°C, a zabiloną 80°C. Gdy z kolei ustawimy wartość emisyjności dla powierzchni zabilonowanej, tak aby pirometr wskazywał 200°C, to dla powierzchni po piaskowaniu pokaże 490°C, a skorodowanej 680°C.

Powyższe wyniki pomiarów dają obraz niedokładności, jakie mogą wyniknąć z nieprawidłowo prowadzonych pomiarów z wykorzystaniem pirometru. Ważne jest to, że wszystkie typy badanych powierzchni występują w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca spawania i może na nich zostać dokonany pomiar. Pamiętajcie należy również o tym, że nawet osadzenie się dymów spawalniczych na jednolitym materiale zmieni jego współczynnik emisyjności, dlatego niezwykle trudno jest prowadzić pomiary związane z podgrzewaniem wstępnym lub kontrolą temperatury międzyścigowej z wykorzystaniem pirometru.

Wyniki pomiarów prowadzone z wykorzystaniem termometru stykowego przedstawiono na rysunku 9. Tak samo jak dla pirometru, zostały tu wykonane pomiary temperatury płytki stalowej w zakresie temperatury od 50°C do 600°C i porównane z pomiarami prowadzonymi przy użyciu termoelementów zgrzanych do materiału. Wyniki pokazały, jak rośnie błąd pomiaru temperatury, mierzonej termometrem stykowym, wraz ze wzrostem różnicy temperatury między płytką stalową a powietrzem.

Powyższe wyniki potwierdzają to, co zostało powiedziane na wstępie – wraz ze wzrostem różnicy temperatury rośnie błąd pomiaru termometru stykowego. Biorąc jednak pod uwagę to, że temperatura otoczenia zmienia się w niewielkim zakresie, wyznaczenie takiej charakterystyki pozwoli na przeprowadzenie dość dokładnych pomiarów z wykorzystaniem termometru stykowego, jeżeli uwzględni się średni błąd w danym zakresie temperatury. Przykładowo, mierząc temperaturę podgrzania przy spawaniu na poziomie 200°C, do mierzonej temperatury należy dodać średnio 13°C. Jeżeli pozwala na to dany typ termometru, można ustawić tak kompensację temperatury, aby urządzenie automatycznie dodawało 13°C. Pozwoli to w sposób prosty używać termometru stykowego jako stosunkowo dokładnego narzędzia pomiarowego.



Rys. 9. Błąd pomiarowy, wynikający z użycia termometru stykowego w stosunku do termoelementu zgrzanego do powierzchni płytki

Fig. 9. The measuring error resulting from the use of the contact thermometer to the thermocouple welded to the surface of the plate

Podsumowanie

Mimo, iż pirometr może wydawać się przyrządem bardzo wyrafinowanym, fatalnie sprawdza się jako urządzenie do kontroli temperatury w procesach spawalniczych. Wyjątkiem jest jego wykorzystanie na liniach do spawania, w procesach powtarzalnych, gdzie stan przygotowania powierzchni i zakres podgrzania są zbliżone. Znacznie lepszym przyrządem pomiarowym wydaje się być prostszy i tańszy termometr stykowy, gdyż mając świadomość wzrostu błęd pomiarowego wraz z temperaturą można od-

powiednio korygować wskazania przyrządu. Poza tym, nawet najprostszy termometr stykowy ma możliwość podłączenia przewodu termoelektrycznego, zgrzanego do mierzonego obiektu, co pozwala na uzyskanie bardzo dokładnych wyników pomiaru lub korekty wskazań innego przyrządu pomiarowego, a co najważniejsze dla jakości prowadzonych pomiarów, wskazania termometru stykowego są niezależne od stanu powierzchni badanego ciała.

ARTYKUŁY ARCHIWALNE PRZEGLĄDU SPAWALNICTWA

Cena

Cena 1 artykułu z numeru archiwalnego w wersji elektronicznej: 21 zł (w tym 5% VAT)

W celu zamówienia artykułu należy wypełnić formularz zamieszczony obok i przesłać go w formie skanu wraz z potwierdzeniem wpłaty na adres:

pspaw@ps.pl

Wpłaty należy dokonać na rachunek bankowy:

Bank BPH S.A. Oddział w Warszawie
45 1060 0076 0000 3200 0043 1836

Artykuły wysyłane są drogą elektroniczną w ciągu 2 dni od otrzymania zamówienia.

REDAKCJA – Przegląd Spawalnictwa AW SIMP

ul. Świętokrzyska 14a, 00-050 Warszawa
tel.: 22 827 25 42, faks: 22 336 14 79

Zamawiam artykuły:

Nr zeszytu:, rok, strony

Nr zeszytu:, rok, strony

Nr zeszytu:, rok, strony

Adres e-mail

Imię i nazwisko

Firma

Adres

NIP

Kontakt do osoby zamawiającej: