

RYSZARD PETELA
Katedra Podstaw Techniki Ciepłej

JANUSZ KOKOT
Huta Batory

ANDRZEJ WOŹNIAK
Zakład Sieci Ciepłej - Łódź

POMIARY ILOŚCI ZGORZELINY PRZY PODGRZEWANIU STALI

Streszczenie. Za pomocą laboratoryjnego pieca do nagrzewania stalowych próbek określano eksperymentalnie wpływ stosunku nadmiaru powietrza do spalania, zawartości tlenu w tym powietrzu i wpływ czasu nagrzewania na ilość tworzącej się zgorzeliny. Wyniki badań przedstawiono w formie wykresów i opisano wnioski.

1. Wstęp

Zagadnienie tworzenia się zgorzeliny przy podgrzewaniu stali w wysokich temperaturach jest istotnym problemem w wielu przypadkach. Zgorzelina jest bowiem przyczyną znacznych, sięgających kilku procent, strat podgrzewanego materiału. Nie usunięta z powierzchni wlewka lub kęsa zostaje podczas walcowania wgnieciona do wnętrza wyrobu obniżając jego jakość. W przypadku stosowania obróbki cieplnej mogą również wystąpić miejscowe wady powierzchniowe z powodu zmniejszonego przewodnictwa cieplnego warstwy pokrytej zgorzeliną, zmieniające warunki obróbki. Duże znaczenie więc ma eliminowanie zgorzeliny lub nawet zmniejszanie jej ilości [1], [3].

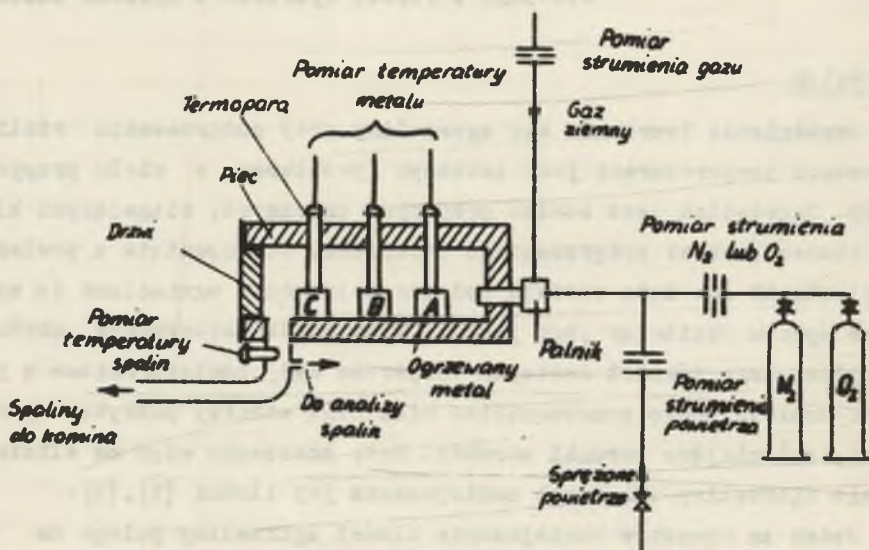
Jeden ze sposobów zmniejszania ilości zgorzeliny polega na utrzymywaniu odpowiedniego składu chemicznego grzejnych spalin omijających nagrzewane powierzchnie. Lokalny skład takich spalin może być znacznie zmieniany w stosunku do składu wynikającego ze zwy-

czajnego, zupełnego spalania paliwa przy użyciu powietrza. Na przykład przez stopniowane doprowadzanie powietrza do spalania, lub przez zmianę udzisku tlenu w użytym powietrzu można powierzchnie ogrzewanego wsadu metalowego stykać ze spalinami o różnych parametrach chemicznych i termicznych wpływających na ilość tworzącej się zgorzseliny.

Wpływ ten próbowano w niniejszej pracy określić eksperymentalnie [2]. Otrzymane wyniki o znaczeniu orientacyjnym mogą być ważną informacją przy organizowaniu procesu tzw. bezzgorzselinowego nagrzewania stali w piecach, przy równoczesnej ocenie ekonomicznej opłacalności wprowadzania zasad takiego procesu.

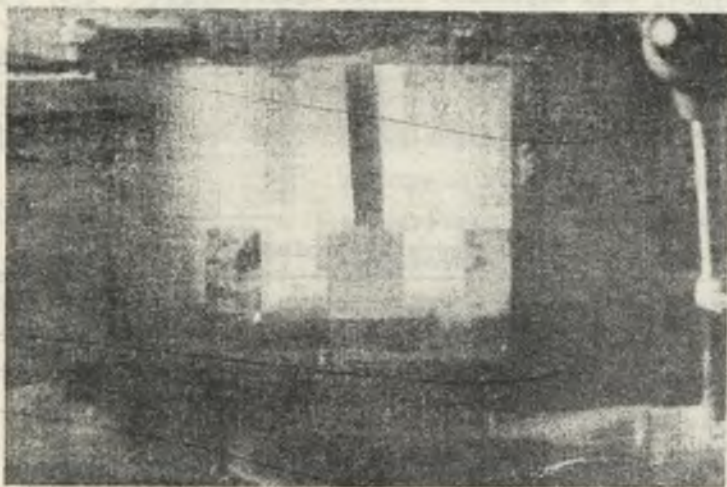
2. Instalacja badawcza

Badania przeprowadzono przy użyciu specjalnego pieca laboratoryjnego przedstawionego schematycznie na rysunku 1. Piec zasilało



Rys. 1. Schemat instalacji badawczej

gazem ziemnym o wartości opałowej $34,4 \text{ MJ/m}_n^3$, który był spalany przy zmiennym stosunku nadmiaru tlenu i przy zmiennym składzie chemicznym utleniającego czynnika (powietrze wzbogacone lub zubożone w tlen). W komorze pieca o objętości $0,025 \text{ m}^3$, której wnętrze pokazano na rysunku 2 (widok przez otwarte drzwi), umieszczano 9 próbek wykonanych ze stali o składzie chemicznym: C - 0,25%, Si - 0,03%, P - 0,041 %, S - 0,042%, Cu - 0,08%, Cr - 0,09%, Mn - 0,45%, Ni - 0,09% (reszta Fe). Każda z próbek w kształcie prostopadłościanu o długości boków $4 \times 5 \times 6 \text{ cm}$ ważyła około 840 g. Nawiercone otwory pozwalały na wprowadzanie odsłoniętej końcówki termopary do środka próbki. Przewody termopary były osłonięte rurką z materiału cera-



Rys. 2. Wnętrze pieca

micznego. Mierzono temperaturę tylko trzech środkowych próbek A, B i C. Dla określenia składu chemicznego spalin odprowadzanych do kolumna przeprowadzano analizę aparatem Orsata. Temperaturę tych spalin mierzono termoparą umieszczoną u wylotu ich z komory pieca. Gaz ziemny w ilości mierzonej za pomocą podwójnej kryzy pomiarowej pobierano z sieci o nadciśnieniu rzędu 30 mbar. Do palnika doprowadzano powietrze sprężone z sieci przez zawór redukcyjny. Strumień powietrza mierzono kryzą pomiarową. Dla uzyskania czynnika utlenia-

jącego o różnym składzie doprowadzano do strugi powietrza, mierzonej za pomocą wycechowanych kapilar, strumień azotu lub tlenu z odpowiedniej butli.

Ilość zgorzeliny powstającej na powierzchniach ogrzewanych kostek próbnych określano metodą trawienia próbek w stopionych solach o składzie chemicznym NaOH - 75%, NaNO_3 - 15% i NaCl - 10%. Próbkę z pokrytymi zgorzeliną powierzchniami zanurza się w stopionych solach o temperaturze 450 do 540°C na okres 5 do 20 minut. Zgorzelina zostaje usunięta w następujących dwóch procesach, którymi są hartowanie próbki w zimnej wodzie i krótkie zanurzenie w ciepłym rozcieńczonym kwasie. Ubytek ciężaru próbki określony za pomocą laboratoryjnej wagi odpowiada ilości zgorzeliny.

3. Wyniki badań i wnioski

Z przeprowadzonych badań [2] omówiono tu 6 pomiarów (tablica 1).

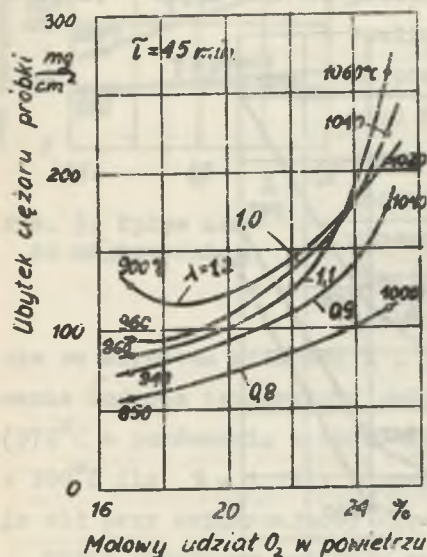
Tablica 1

Parametry pomiarów

Nr pomiaru	Molowy udział O_2 w powietrzu do spalania %	Czas nagrzewania próbek min.
1	17	45
2	19	45
3	21	45
4	23	45
5	25	45
6	21	23

W poszczególnych pomiarach zmieniano udział molowy tlenu w czynniku utleniającym paliwo (powietrzu wzbogaconym lub zubożonym) i zastosowano dwa różne kryteria stanowiące o zakończeniu danego pomiaru. Dla pomiarów od 1 do 5 przyjęto orientacyjnie wartość wskaźnika W zużycia energii chemicznej paliwa przypadającego na 1 kg ogrzewanego wsadu $W = 6 \text{ MJ/kg}$. Dla stosowanego w badaniach stałego strumienia gazu ziemnego wynoszącego $2 \text{ m}^3/\text{h}$ i dla ogrzewanej ma-

sy wsadu, odpowiada to czasowi nagrzewania rzędu 45 minut. W pomiarze 6 przyjęto dla porównania czas ten wynoszący 23 minuty. Każdy pomiar przeprowadzono przy pięciu wartościach stosunku nadmiaru czynnika utleniającego (0,8, 0,9, 1,0, 1,1 i 1,2).



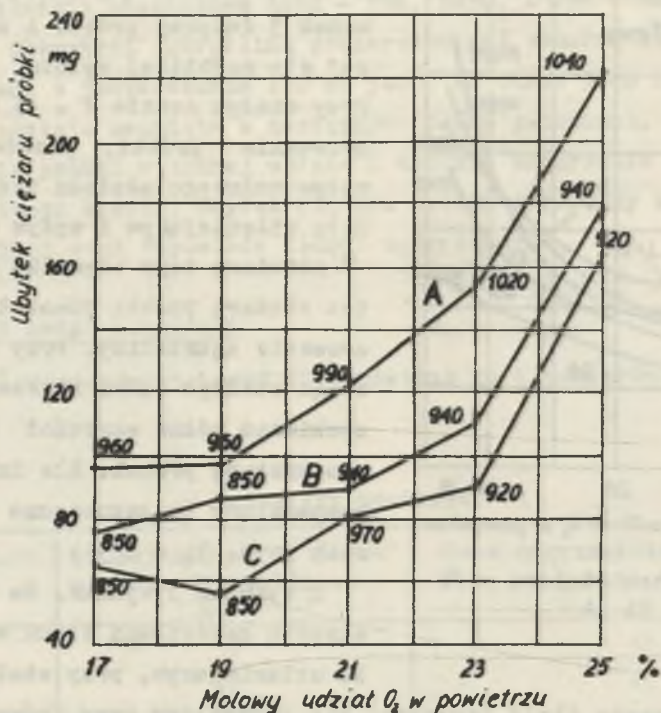
Rys. 3. Ubytek ciężaru próbki A

Otrzymane wyniki przedstawiono w formie uśrednionych wykresów. Rysunek 3 dotyczy próbki A znajdującej się najbliżej wylotu palnika. Przy stałym czasie $\tau = 45$ minut nagrzewania próbki, przedstawiono wpływ molowego udziału tlenu w czynniku utleniającym i wpływ stosunku λ nadmiaru tego czynnika na ubytek ciężaru próbki powstały przez usuwanie zgorzeli. Przy realizowaniu stałego czasu nagrzewania uzyskiwano różne wartości końcowej temperatury próbek. Dla informacji temperatury te zaznaczono na wykresach (rys. 3, 4 i 5).

Z rysunku 3 wynika, że w miarę wzrostu zawartości tlenu w czynniku utleniającym, przy stałej zawartości λ , wzrasta ilość tworzącej się zgorzeli przy równoczesnym wzroście końcowej temperatury próbki nagrzewanej w stałym czasie. Przy stałej wartości molowego udziału tlenu w czynniku utleniającym ilość zgorzeli jest tym większa, im większa jest na ogół wartość stosunku λ , chociaż wpływ ten na rysunku 3 jest niezbyt wyraźny ze względu na różne wartości odpowiednich temperatur końcowych, jakie osiągały badane próbki.

Dla wszystkich pomiarów ubytek ciężaru próbki określano również dla próbek B i C znajdujących się, w porównaniu z próbką A, dalej od wylotu palnika. Dla przykładu podano na rysunku 4 wykres ubytku ciężaru próbki w zależności od położenia przy nagrzewaniu trwają-

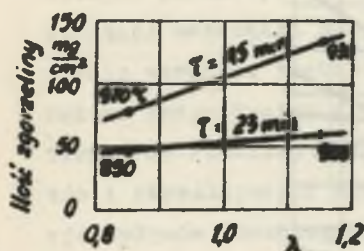
cym 45 minut i przy spalaniu gazu ziemnego z czynnikiem utleniającym w stosunku nadmiaru $\lambda = 1$. Jak wynika, w miarę zwiększającej się odległości badanej próbki od palnika zmniejsza się ilość zgorzeliny, obniża się jednak przy tym końcowa temperatura próbki. Potwierdza się również wniosek, że dla poszczególnych komór pieców



Rys. 4. Ubytek ciężaru próbek A, B i C

grzejnych wypełnionych w różny sposób płomieniem i gorącymi spalinami istnieją odmienne pola końcowych temperatur nagrzewanego materiału, a także odmienne pola tworzenia się zgorzeliny związane z polem koncentracji składników gazowych. O końcowej temperaturze nagrzewanego wsadu niekiedy w dużym stopniu decyduje takie rozwiązanie układu geometrycznego komory, wsadu i strugi gazów, które powiększa rolę wymiany ciepła przez promieniowanie. Dla określonego więc materiału nagrzewanego i dla przyjętego układu geometrycznego istnieje pewien optymalny sposób ułożenia wsadu w komorze zapewnia-

jący, przy wymaganej temperaturze końcowej, również minimalną ilość zgorzeliny.



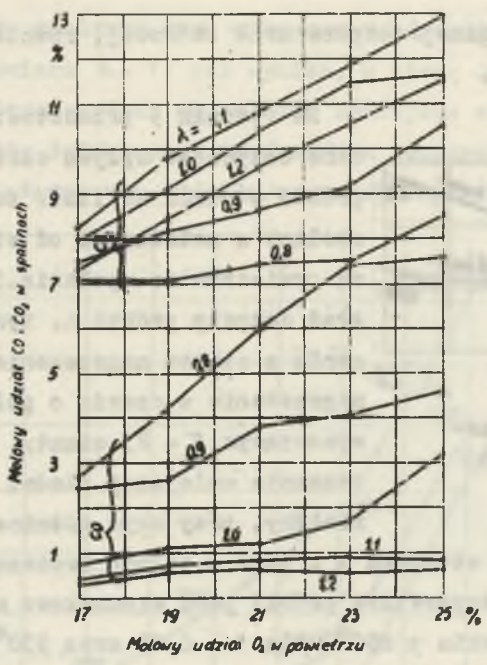
Rys. 5. Wpływ czasu nagrzewania

Na rysunku 5 przedstawiono uśrednione dane dotyczące wpływu czasu przebywania próbki w piecu na ilość tworzącej się zgorzeliny w zależności od stosunku λ nadmiaru powietrza do spalania. Przedstawiony przykład dotyczy próbki A. Wynika, że w porównaniu z czasem nagrzewania $\tau = 45$ minut, nagrzewania w czasie o połowę krótszym, tj. wynoszącym $\tau = 23$ minuty, odbywa się przy znacznie mniejszej ilości powstającej zgorzeliny, przy czym różnica tych ilości róż-

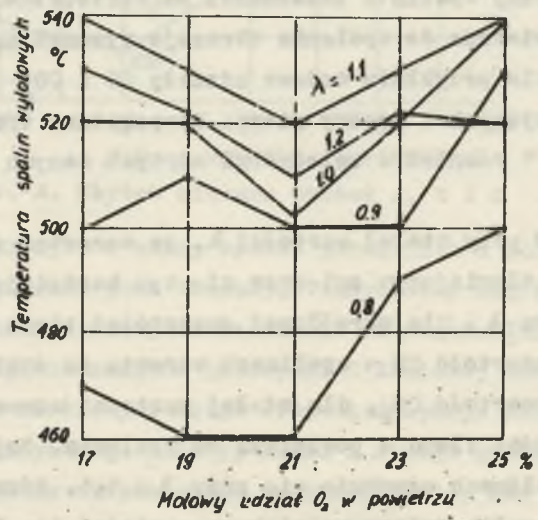
nie ze wzrostem stosunku λ . Mimo o połowę krótszego czasu nagrzewania końcowa temperatura próbki jest stosunkowo niewiele niższa (970°C w porównaniu z 850°C dla $\lambda = 0,85$ oraz 930°C w porównaniu z 900°C dla $\lambda = 1,15$). Odpowiednie różnice temperatur zmniejszają się przy zwiększającej się wartości stosunku λ .

Skład chemiczny spalin w zależności od wartości λ i od zawartości tlenu w powietrzu do spalania obrazuje rysunek 6, na którym przedstawiono dla przykładu molowe udziały CO i CO₂ w spalinach suchych wypływających z komory pieca. Temperaturę tych spalin przedstawia rysunek 7 również w zależności od tych samych parametrów procesu spalania.

Zawartość CO przy stałej wartości λ , ze wzrostem zawartości tlenu w czynniku utleniającym zwiększa się tym bardziej, im niższa jest wartość stosunku λ . Dla określonej zawartości tlenu w powietrzu do spalania, zawartość CO w spalinach wzrasta ze zmniejszeniem się stosunku λ . Zawartość CO₂, dla stałej wartości wzrasta w miarę wzrostu zawartości tlenu w powietrzu do spalania. Największe zawartości CO₂ w spalinach uzyskuje się przy $\lambda = 1,1$. Również temperatura wylotowych spalin osiąga największe wartości dla $\lambda = 1,1$. Dla mniejszych lub większych wartości λ temperatura ta jest mniejsza.



Rys. 6. Zawartość CO i CO₂ w spalinach



Rys. 7. Temperatura spalin

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają znaczny wpływ czasu nagrzewania, stosunku λ i zawartości tlenu w powietrzu do spalania na ilość powstającej zgorzeli. Dobór jednak wartości wyszczególnionych parametrów powinien opierać się na optymalizacji uwzględniającej wskaźniki zużycia energii chemicznej paliwa i przy uwzględnieniu warunków technologicznych. Zagadnienie takie ma na ogół charakter indywidualny dla określonego obiektu. Praca niniejsza dostarcza do rozważań danych wstępnych uzyskanych w drodze eksperymentów i określających nie tyle dokładne zależności ile ogólne tendencje wpływów poszczególnych parametrów w procesie nagrzewania stali w komorach paleniskowych.

W trakcie pracy nasunął się również wniosek, aby celem uzyskania dokładniejszych wyników pomiarów ilości tworzącej się zgorzeli, spróbować w przyszłości określania tej ilości przez przyrost ciężaru próbki przy przeprowadzaniu następnie analizy chemicznej wytworzonej zgorzeli.

Badania laboratoryjne przedstawione powyżej można by dalej rozwijać dla określenia optymalnych warunków bezzgorzelinowego nagrzewania stali, przy czym ważne jest również wprowadzenie i sprawdzenie pewnych kryteriów podobieństwa pozwalających na przetransponowanie uzyskiwanych wyników laboratoryjnych na rzeczywiste obiekty przemysłowe.

LITERATURA

- [1] GOCZAŁ J. - Hutnik (1960) nr 4, (1968) nr 10.
- [2] PETELA R., WOŹNIAK A. - Badanie ilości zgorzeli powstającej przy podgrzewaniu stali w komorze paleniskowej. Mgr. Pr.Dypl. w Zakł. Gosp. Gazowej Kat. Energetyki Ciepłej Politechniki Śląskiej 1970.
- [3] SENKARA T. - Obliczenia pieców grzewczych w hutnictwie żelaza Wyd. Śląsk, Katowice 1968.

ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОКАЛИНЫ ВО ВРЕМЯ ПОДОГРЕВА СТАЛИ

Резюме

При помощи лабораторной печи для нагрева стальных образцов экспериментально определялось влияние соотношения избытка воздуха к сгоранию и влияние времени нагрева на количество образования окалина.

Результаты исследований представлены в виде графиков и описано предложения.

QUANTITY MEASUREMENT OF THE SCALE FORMATION
AT THE HEATING OF THE STEEL

Summary

The laboratory furnace for heating the steel samples was used for some experiments. Dependence of the quantity of scale formation, upon the excess air ratio, oxygen concentration in the air used in combustion and the time of heating, was determined. Examination results are presented by diagrams and some conclusions are discussed.