

Jerzy LATUSEK
Andrzej GRZYBOWSKI

ANALIZA TRAFIALNOŚCI TYTANU W STALI
KWASOODPORNEJ WYTAPIANEJ W PIECU ŁUKOWYM

Streszczenie. W pracy przedstawiono prognozę dla trafialności tytanu w stali kwasoodpornej w gat. 1H18N9T, przeprowadzoną na podstawie rozkładu normalnego Gaussa. Zaproponowano probabilistyczną metodę obliczania masy żelazotytanu wprowadzanego do stali. Metoda ta, wykorzystująca rozkład prawdopodobieństwa uzysku pierwiastka w stali, umożliwia minimalizację nietrafień tytanu lub kształtowanie struktury tych nietrafień.

1. Wstęp

Uzyskanie wymaganej zawartości pierwiastka w wytapianej stali nazywane jest powszechnie "trafieniem" tego pierwiastka w wytopie. Doświadczenia stalowników dowodzą, że nie ma całkowitej pewności "trafienia" wytopu, zwłaszcza w odniesieniu do pierwiastków o dużym powinowactwie z tlenem. Decyzje i czynności, których celem jest "trafienie" pierwiastka w stali, związane są więc z podejmowaniem pewnego ryzyka. Ryzyko to może być określone metodami rachunku prawdopodobieństwa.

Znaczne powinowactwo tytanu z tlenem oraz zmienne warunki wymaganych zawartości Ti w stalach kwasoodpornych, wytapianych konwencjonalną technologią odzyskową w piecach łukowych.

Celem pracy było przeprowadzenie statystycznej analizy "trafialności" tytanu w stali kwasoodpornej w gatunku 1H18N9T, wytapianej w piecu łukowym o pojemności 10 Mg oraz określenie możliwości uzyskania poprawy w tym zakresie poprzez wprowadzanie takiej ilości żelazotytanu do stali, która w danych warunkach minimalizuje prawdopodobieństwo "nietrafienia" Ti w wytopie.

2. Zastosowanie rozkładu normalnego do oceny "trafialności" tytanu w stali

Przy wystarczającej liczbie danych charakterystycznych wartości zmiennej losowej możliwe jest opracowanie jej rozkładu prawdopodobieństwa. Spośród modeli statystycznych stosowanych do opisu rozkładu zmiennych procesowych szczególnie przydatny jest rozkład normalny Gaussa, właściwy gdy wartości obserwowanej zmiennej są wynikiem sumowania się wielu oddziaływań losowych.

W odniesieniu do zawartości pierwiastków w stali, ze względów formalnych, konieczne jest obustronne obcięcie rozkładu normalnego, tak aby w przedziale $0 \leq \%i \leq 100$, w którym występują zawartości pierwiastków w stali, zawierała się cała przestrzeń zdarzeń, $0 \leq P = P([\%i]) \leq 1$.

Analizę normalnego rozkładu prawdopodobieństwa pierwiastka w stali szczególnie wygodnie przeprowadza się wtedy, gdy rozkład ten przedstawiony jest na siatce funkcyjnej, w której na oś rzędnych naniesiona jest skala prawdopodobieństwa. Dystrybuenta jako funkcja zawartości pierwiastka w stali na wykresie wyraża się wówczas linią prostą.

Na rys. 1 pokazano normalny rozkład prawdopodobieństwa zawartości tytanu w stali w gat. 1H18N9T, opracowany zgodnie z opisanymi wyżej zasadami na podstawie danych 108 wytopów. Punktami oznaczono obliczone wartości skumulowanych prawdopodobieństw empirycznych odpowiadające podziałowi próby statystycznej na 8 klas. Test zgodności χ^2 Pearsoina wykazał, że w tym przypadku można mówić o zgodności rozkładu empirycznego z modelem normalnym na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Z rys. 1 można między innymi odczytać, jakie jest prawdopodobieństwo tego, że stężenie tytanu nie przekroczy wartości 0,8 %, która jest górną dopuszczalną zawartością tego pierwiastka w stali 1H18N9T. W warunkach prowadzonych badań prawdopodobieństwo to wyniosło:

$$P_2 = P([\%Ti] \leq 0,8) = 0,8586 \quad (1)$$

Z powyższej zależności wynika, że prawdopodobieństwo "nietrafienia" tytanu w wytopie polegające na przekroczeniu górnej dopuszczalnej granicy Ti w stali było równe:

$$P_3 = 1 - P_2 = 0,1414 \quad (2)$$

Oznacza to, że jeżeli warunki i technologia stosowanego procesu wytapiania nie ulegną zmianie, w 1000 wykonanych wytopach stali 141 z nich będzie miało za dużo tytanu.

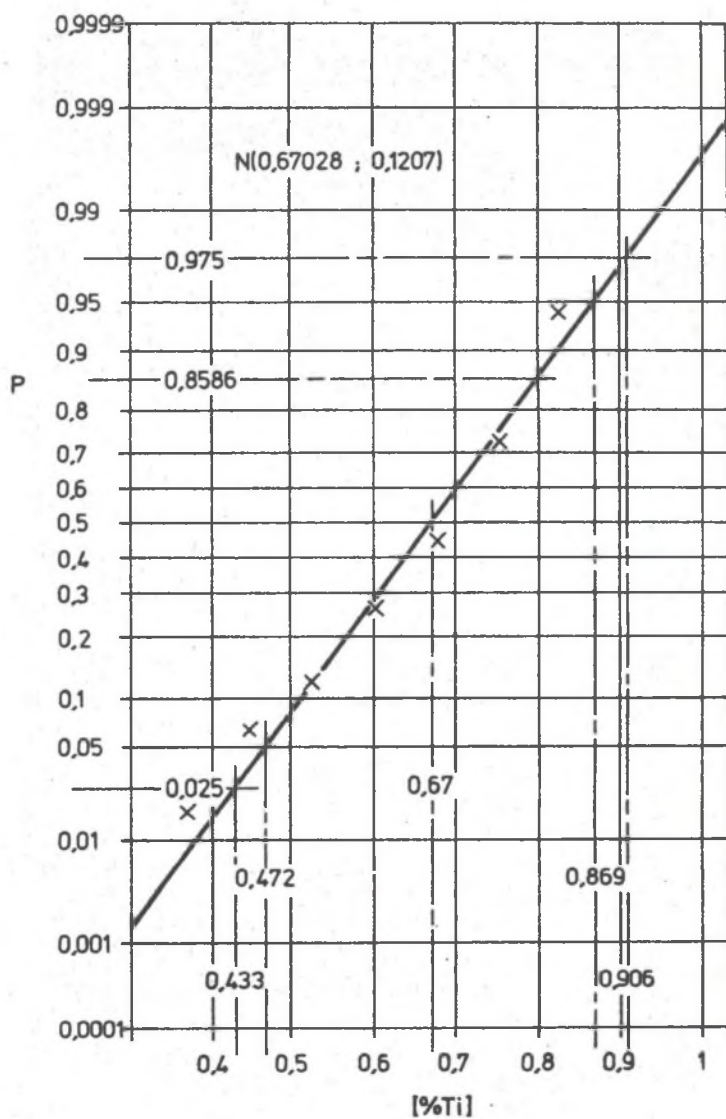
Wymagania w zakresie minimalnej zawartości tytanu w stali 1H18N9T zależne są od uzyskanego stężenia węgla w metalu.

Żąda się, aby:

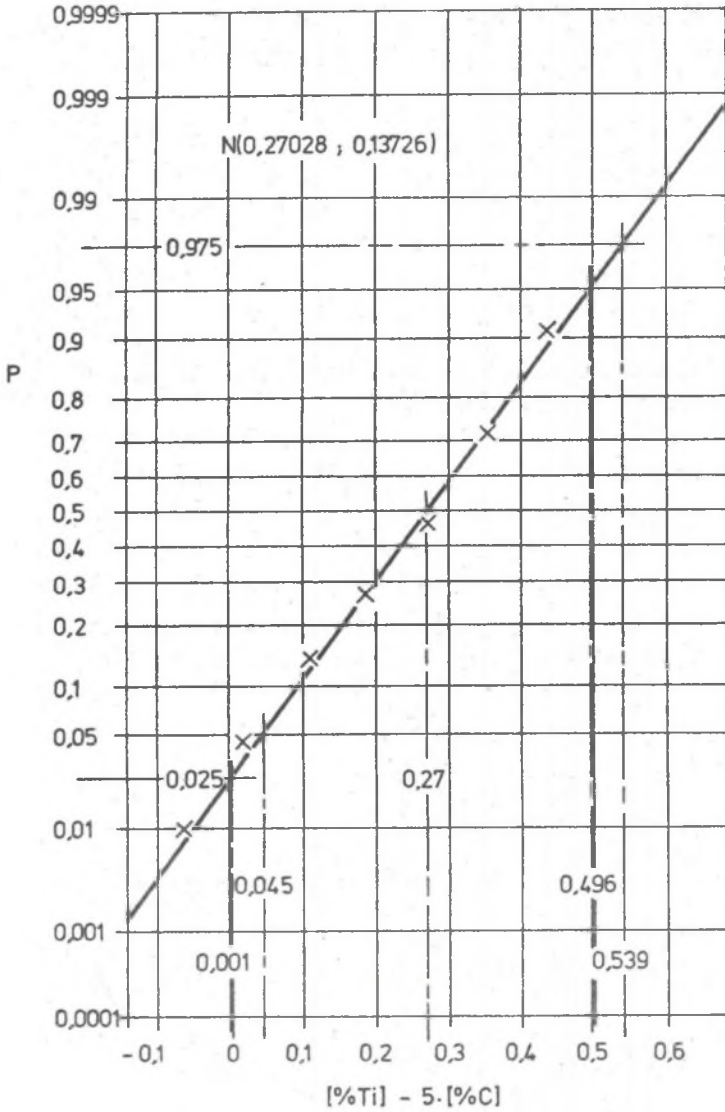
$$[\%Ti] - 5 [\%C] \geq 0 \quad (3)$$

W analizowanych wytopach obliczono wartość wyrażenia (3) i opracowano jego normalny rozkład prawdopodobieństwa. Rozkład ten, wykreślony na rys.2, charakteryzuje się zgodnością danych ruchowych z dystrybuentą teoretyczną na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Z wykresu tego można odczytać, że prawdopodobieństwo niedoboru tytanu w wytopach wynosi:

$$P_1 = P(([\%Ti] - 5 [\%C]) \leq 0) = 0,025 \quad (4)$$



Rys.1 Dystrybuanta rozkładu normalnego zawartości tytanu w stali gat. 1R18N9T



Rys.2 Dystrybuanta rozkładu normalnego zmiennej ($[\%Ti] - 5*[\%C]$) w stali gat. 1H18N9T

Wartość tę można interpretować w ten sposób, że planując wykonanie 1000 wytopów stali stosowaną dotąd technologią w około 25 z nich wystąpi niedobór tytanu. Suma wartości odpowiadających wyrażeniom (2) i (4) jest prawdopodobieństwem "nietrafienia" tytanu w wytopach. W rozpatrywanym przypadku wynosiło ono 0,1664 co stanowi około 166 "nietrafień" Ti w 1000 wytopów.

3. Możliwości poprawy wskaźnika trafialności tytanu w stali poprzez optymalizację masy żelazotytanu wprowadzonej do metalu

Masę żelazotytanu wprowadzoną, do stali kwasoodpornej można obliczać ze wzoru:

$$m_{\text{FeTi}} = \frac{100 \cdot m_0 \cdot 5 \cdot [C]}{\varphi_1^{\text{Ti}} \cdot [\text{Ti}]^{\text{FeTi}} - 100 \cdot 5 \cdot [C]} \quad (5)$$

gdzie: $[C]$ - oczekiwana zawartość węgla w gotowej stali, %;

m_0 - masa stali, kg,

φ_1^{Ti} - najniższy oczekiwany uzysk Ti w stali, %,

$[\text{Ti}]^{\text{FeTi}}$ - zawartość Ti w żelazotytanie, %,

Wartością m_0 może być suma mas składników zaliczonych do wsadu metalicznego oraz dodatków stopowych wprowadzonych przed dodaniem żelazotytanu lub odpowiadająca jej masa ciekłej stali w piecu. Zależnie od przyjętego określenia m_0 oblicza się wartości φ_1^{Ti} w wytopach stanowiących analizowany wcześniej materiał statystyczny i opracowuje rozkład prawdopodobieństwa uzysku Ti.

Do równania (5) wstawia się obliczoną z rozkładu prawdopodobieństwa taką wartość φ_1^{Ti} , żeby istniało tylko pewne niewielkie, lecz dowolne wybierane prawdopodobieństwo zdarzenia, że rzeczywisty uzysk Ti w stali będzie mniejszy niż założony w obliczeniu masy żelazotytanu. Z rozkładu prawdopodobieństwa uzysku Ti w stali wynika, że obawa przed niedomiarem tytanu w stali, wyrażająca się w przyjmowaniu stosunkowo małych wartościach prawdopodobieństwa P_1 , prowadzi w konsekwencji do stosowania w obliczeniach masy FeTi niewielkich uzysków tytanu. Jednak mniejszym wartościom φ_1^{Ti} wstawianym do wzoru (5) odpowiadają większe masy FeTi. Może to spowodować przedawkowanie tytanu w stali w rezultacie nastąpi przekroczenie górnej dopuszczalnej zawartości tego pierwiastka.

Maksymalna wartość uzysku tytanu, która umożliwia dotrzymanie górnej dopuszczalnej zawartości Ti w stali 1H18N9T wynosi:

$$\varphi_2^{\text{Ti}} = 100 \cdot \frac{0,8}{[\text{Ti}]_w} \quad (6)$$

gdzie:

$$[\text{Ti}]_w = \frac{m_{\text{FeTi}} \cdot \text{Ti}_{\text{FeTi}}}{m_0 + m_{\text{FeTi}}} \quad (7)$$

Prawdopodobieństwo tego, że wystąpi uzysk Ti większy od wartości φ_2^{Ti} i wytop będzie "nietrafiony" wskutek przekroczenia maksymalnej zawartości Ti, można określić z rozkładu uzysku tytanu.

W opracowanej hipotezie namiarowania żelazotytanu wprowadzonego do stali kwasoodpornej, łączne prawdopodobieństwo "nietrafienia" tytanu równe jest sumie prawdopodobieństw zdarzeń, że uzysk Ti będzie mniejszy od najniższego oczekiwanego φ_1^{Ti} lub większy od dopuszczalnego φ_2^{Ti} . Prawdopodobieństwa te, oznaczone jako P_1 i P_3 są równe:

$$P_1 = P_u \left(\frac{\varphi_1^{\text{Ti}} - \bar{\varphi}^{\text{Ti}}}{s_{\varphi}} \right) \quad (8)$$

$$P_2 = P_u \left(\frac{\varphi_2^{\text{Ti}} - \bar{\varphi}^{\text{Ti}}}{s_{\varphi}} \right) \quad (9)$$

$$P_3 = 1 - P_2 \quad (10)$$

gdzie: $\bar{\varphi}^{\text{Ti}}$ - uzysk średni Ti w stali,

s_{φ} - odchylenie standardowe uzysku Ti,

$F_u(u)$ - dystrybuanta standaryzowanego rozkładu normalnego obliczona dla danej wartości

Wobec powyższego prawdopodobieństwo "nietrafienia" tytanu w wytopie jest równe:

$$P_N = P_1 + P_3 \quad (11)$$

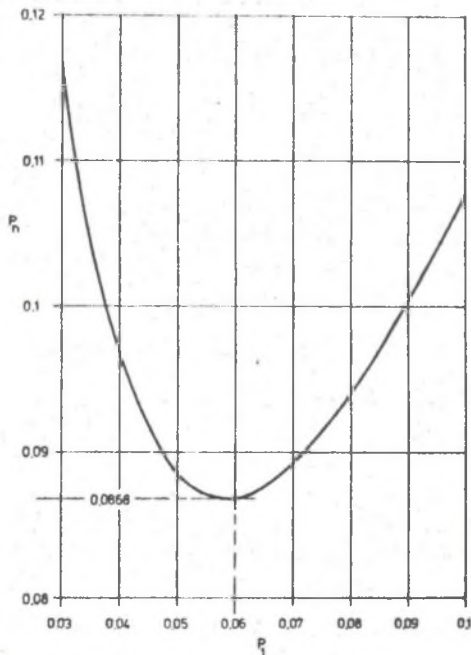
a prawdopodobieństwo spełnienia wymogów składu chemicznego stali wynosi:

$$P_T = 1 - P_N \quad (12)$$

Zmienne P_N i P_T przyjmują różne wartości zależnie od założonego w równaniu (5) uzysku φ_1^{Ti} .

Na rys.3 pokazano zależność sumarycznego prawdopodobieństwa "nietrafienia" tytanu P_N w funkcji wybranego dowolnie ryzyka P_1 określającego szansę zdarzenia, że w wytopie wystąpi niedomiary tytanu. Wykres ten opracowano dla zawartości węgla w stali równej 0,09 %. Praktyka wykazuje, że najczęściej sprzedaż wytopów w gat. 1H18N9T z "nietrafionym" Ti jest trudniejsza w przypadku niedomiary tytanu niż w sytuacji, gdy występuje nadmiar tego pierwiastka. Dlatego związek pomiędzy P_N i P_1 przedstawiono tak, aby P_N było funkcją zmiennej P_1 . Daje to możliwość wyboru prawdopodobieństwa P_1 związanego z niedomiarem Ti w stali. Rys.3 opracowano dla następujących parametrów rozkładu uzysku Ti w stali: $\bar{\varphi}^{\text{Ti}} = 58,031\%$, $s_{\varphi} = 9,6161\%$, przy czym uzysk tytanu w wytopach obliczone w odniesieniu do masy ciężkiej stali w kadzi.

Zależność P_N od P_1 wykazuje minimum równe 0,0868 dla $P_1 = 0,06$. Oznacza to, że możliwe jest wprowadzenie takiej masy FeTi do kąpieli metalowej, która daje największą szansę "trafienia" tytanu w wytopie. W analizowanym przykładzie "nietrafienia" tytanu wystąpi w około 87 przypadkach na 1000 wytopów. Można spodziewać się, że w tej liczbie 60 wytopów będzie miało niedomiar Ti, a w 27 przypadkach wystąpi nadmiar tytanu.



Rys.3 Zależność sumarycznego prawdopodobieństwa "nietrafienia" tytanu P od wartości prawdopodobieństwa P niedomiaru Ti w stali gat. 1H18N9T

Prognozowana wyżej ilość wytopów z "nietrafionym" tytanem jest niemal dwukrotnie mniejsza od obliczonej w rozdziale 2, która odpowiada sytuacji występującej w produkcji w okresie poddanym analizie. W obu przypadkach inna jest także struktura "nietrafień" (w proponowanym rozwiązaniu mniej jest wytopów z nadmiarem Ti, więcej z niedomiarem).

W rozpatrywanych warunkach tytan będzie "trafiony", jeżeli jego użyczek w stali będzie zawierał się w przedziale $43,08 < \varphi^{Ti} < 76,59 \%$. Stosowanie opracowanej metody w produkcji nie wymaga posługiwania się rachunkiem prawdopodobieństwa ponieważ dla celów praktycznych można opracować nomogram komplementarny wobec zależności pokazanej na rys.3.

Proponowana hipoteza ma ogólny charakter i może być zastosowana do obliczenia mas innych dodatków stopowych wprowadzonych do ciekłej stali, zwłaszcza w okresie "wykańczania" wytopów. Wcześniej należy oszacować parametry rozkładu uzysku interesujących pierwiastków w stali.

LITERATURA

- [1] Latusek J.: Opracowanie analizy trafialności tytanu przy wytapianiu stali wysokochromowych w warunkach Huty Bstory oraz ocena możliwości poprawy w tym zakresie. Zespół Rzeczoznawców SITPH, ekspertyza na 21/86, Katowice 1986, nie publikowane.

ANALYSIS OF TITANIUM HIT IN ACID - RESISTANT STEEL
PRODUCED IN ARC FURNACE

Summary

Prognosis for titanium "hit" in 1H18N9T acid-resisting steel has been presented in this paper, applying normal distribution. Probability method for calculating ferrotitanium mass in steel has been suggested. This method based on yield distribution probability of element in steel, enables to minimize titanium "misses" on to from the structures of these "misses".

АНАЛИЗ ПОПАДАНИЯ ТИТАНА В КИСЛОСТОЙКОЙ СТАЛИ
ВЫПЛАВЛЯЕМОЙ В ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Резюме

В работе представлен прогноз для попадания титана в кислостойкой стали сорта 1H18N9T проведенный на основе нормального распределения Гауса. Предложено вероятностический метод расчета массы ферротитана введенного в сталь. Этот метод, использующий распределение вероятности элемента в стали, дает возможность минимализацию непопадания титана либо формирования структуры этого непопадания.