

Jerzy SZOTA
Łucja CIEŚLAK

WPŁYW WARUNKÓW CYNKOWANIA OGNIOWEGO NA STRUKTURĘ POWŁÓK CYNKOWYCH NA DRUTACH STALOWYCH

Streszczenie. W badaniach określono wpływ parametrów cynkowania ogniowego przy zastosowaniu wysokich temperatur wejściowych drutu do kąpieli cynkowych na strukturę powłok cynkowych na drutach zestali niskowęglowej. Stwierdzono, że podwyższona temperatura drutu przy wejściu do kąpieli cynkowej zmienia kinetykę dyfuzji reaktywnej $\text{Fe}-\text{Zn}$ i umożliwia uzyskanie powłok pozbawionych kruchej fazy ξ - FeZn_{13} . Wraz ze wzrostem temperatury wejściowej zmniejsza się hamujące oddziaływanie dodatku glinu na rozrost faz $\text{Fe}-\text{Zn}$.

1. Wprowadzenie

Odporność cynku i jego stopów na korozyjne działanie powietrza atmosferycznego, wód naturalnych i niektórych środowisk chemicznych jest kilkakrotnie wyższa od odporności stali węglowych [1, 2]. Stosowanie zatem wyrobów stalowych ocynkowanych zwiększa ich czas użytkowania i pozwala na znaczne zaoszczędzenie stali. Drut stalowy ocynkowany stosowany jest najczęściej na siatki ogrodzeniowe, przewody telekomunikacyjne, liny, sprężyny, przewody uziemiające itp. Ze względu na to, że w procesie technologicznym wytwarzania tych wyrobów oraz podczas ich użytkowania występuje odkształcenie plastyczne (gięcie, skręcanie, przeginanie itp.) powłoki cynkowe na drutach stalowych oprócz wysokiej odporności korozyjnej powinny się cechować dobrą przyczepnością do podłoża stalowego i dobrą plastycznością. Wymienione własności zależą w dużej mierze od struktury powłok. Wybór właściwych parametrów ogniowego ocynkowania pozwala na uzyskanie powłok posiadających strukturę złożoną z cienkiej warstwy faz międzymetalicznych $\text{Fe}-\text{Zn}$ i znacznie grubszej warstwy czystego cynku Zn . Powłoki o takiej strukturze cechuje wysoka odporność na pękanie i łuszczenie się [3+6]. Stąd zmniejszeniem grubości warstwy dyfuzyjnej złożonej z faz międzymetalicznych Γ - $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$, Γ_1 - $\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$, δ_1 - FeZn_7 i ξ - FeZn_{13} zajmowano się w licznych badaniach dotyczących głównie następujących kierunków:

- właściwego przygotowania powierzchni przed cynkowaniem,
- wyboru optymalnej temperatury kąpieli cynkowej,

- określenia właściwego składu kąpieli cynkowej,
- skrócenia czasu cynkowania.

W nowych technologiach cynkowania ogniowego coraz częściej stosuje się wyżarzanie w atmosferach redukcyjnych jako zabieg umożliwiający uzyskanie czystej nieutlenionej powierzchni drutu przed cynkowaniem. Stosowanie atmosfery azotowo-wodorowej, np. w metodzie Sędzimir sprzyja ponadto niewielkiemu naazotowaniu powierzchni, w następstwie czego ograniczony zostaje wzrost strefy dyfuzyjnej Fe-Zn [7].

Zmniejszenie grubości warstwy faz międzymetalicznych Γ , Γ_1 , δ_1 i ξ można osiągnąć przez obniżenie temperatury cynkowania. Stosowanie niskich temperatur kąpieli cynkowej ogranicza jednak niepożądany spadek jej lepkości i wywołane tym pogorszenie gładkości i równomierności powłoki [8]. Korzystne struktury powłok można także uzyskać przez podwyższenie temperatur cynkowania powyżej 500°C, co umożliwia wyeliminowanie niektórych kruchych faz z warstwy dyfuzyjnej [9]. Postulat ten nie doczekał się do chwili obecnej realizacji ze względu na nadmierną korozję wanien cynkowniczych oraz duże straty cynku spowodowane utlenianiem [8].

Wprowadzenie niektórych dodatków stopowych - głównie glinu - do kąpieli cynkowej ogranicza rozrost warstwy dyfuzyjnej Fe-Zn przez wytworzenie cienkiej strefy zaporowej Fe-Zn-Al [10+13]. Nadmierna zawartość tych dodatków (Al > 0,3%) obniża jednak zwiłzalność stali przez ciekły cynk pogarszając warunki cynkowania [14]. Czas cynkowania jest sumą czasu koniecznego do podgrzania drutu do temperatury cynkowania oraz czasu niezbędnego dla dyfuzji Fe-Zn, w wyniku którego powstaje trwałe wiązanie pomiędzy podłożem a powłoką. Wprowadzenie podgrzanego drutu do kąpieli cynkowej skraca czas cynkowania oraz zmienia warunki dyfuzji reaktywnej Fe-Zn [15].

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu parametrów cynkowania ogniowego, przy zastosowaniu wysokich temperatur wejściowych do kąpieli cynkowej, na strukturę powłok cynkowych na drutach ze stali niskowęglowej. W założeniach badań przyjęto stosowanie nagrzewania indukcyjnego udarowego w atmosferze redukującej jako zabiegu poprzedzającego cynkowanie. Procesy wyżarzania udarowego zbadane wcześniej [16, 17] umożliwiają uzyskanie bardzo korzystnych własności mechanicznych i technologicznych drutów przy jednoczesnym skróceniu czasu zabiegu oraz zmniejszeniu gabarytów urządzeń grzewczych.

2. Badania własne

2.1. Materiały do badań

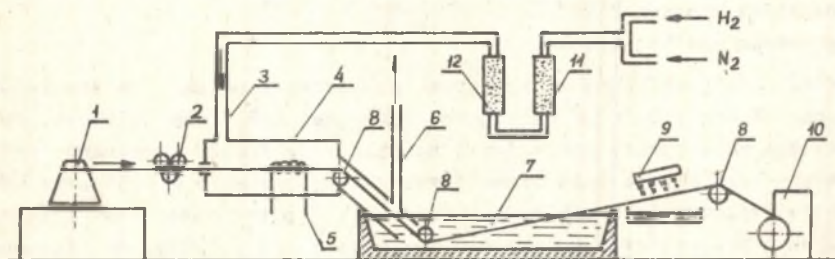
Badania wykonano na drutach o średnicy $\phi = 2,7$ mm ze stali St1 (0,11%C, 0,43% Mn, < 0,01% Si, 0,010% P, 0,03% S, 0,006% Al) dostarczonych w sta-

nie zgniecionym z sumarycznym stopniem gniotu $\approx 90\%$. Zastosowano drut nie-trawiony uzyskany bezpośrednio po ciągnięciu.

Kąpiele cynkowe wykonano z cynku gatunku EO (PN-73/H-82200). W trakcie cynkowania wprowadzano do kąpeli dodatek glinu Al (Pn-64/H-82160).

2.2. Parametry cynkowania drutów

Druty poddano wyżarzaniu i cynkowaniu w prototypowym urządzeniu cynkowym (rys. 1) [6, 15].



Rys. 1. Schemat stanowiska do prób cynkowania metodą UWC (udarowe wyżarzanie-cynkowanie)

1 - odwijak, 2 - rolki prostujące, 3 - dopływ atmosfery redukującej, 4 - mufla, 5 - wzbudnik, 6 - odprowadzenie zużytej atmosfery, 7 - wanna cynkownicza, 8 - rolki prowadzące, 9 - natrysk wodny, 10 - nawijarka, 11 - kolumna katalizatora, 12 - kolumna osuszająca

Wyżarzanie prowadzono w muflii wypełnionej atmosferą ochronną o składzie $97\% \text{N}_2 + 3\% \text{H}_2$ oczyszczoną z zanieczyszczeń O_2 i H_2O . W muflii drut nagrzewano bezpośrednio indukcyjnie przez wzbudnik generatora indukcyjnego GIS-10 o mocy wyjściowej 10 kW i częstotliwości 408,6 kHz. W próbach stosowano wyżarzanie w zakresie temperatur $T_w = 700 \pm 800^\circ\text{C}$. Temperaturę drutu mierzono pirometrem firmy Lend z dokładnością $\pm 10^\circ\text{C}$. Bezpośrednio po wyżarzaniu rekrytalizującym nagrzaną drut wprowadzano do wanny cynkowniczej zawierającej 40 kg ciekłego cynku. Stosowano wannę ogrzewaną elektrycznie oporowymi elementami grzewczymi o mocy 3,4 kW. Nagrzewanie wanny prowadzono tylko podczas roztopiania cynku oraz nagrzewania kąpeli do temperatury cynkowania. Temperaturę kąpeli T_k dobrano w zakresie $430 \pm 470^\circ\text{C}$, tj. w zakresie optymalnym dla cynkowania, biorąc pod uwagę lepkość ciekłego cynku oraz umiarkowane oddziaływanie korozyjne na stalową wannę cynkowniczą. Temperaturę kąpeli mierzono przy użyciu termoelementu żelazo-konstantan. Czas cynkowania w poszczególnych próbach uwarunkowany był prędkością przesuwu drutu ($0,1 \pm 0,3 \text{ m/s}$) i długości wanny (0,7 m) i wahał się w granicach $2,3 \pm 7$ sekund.

Po wyprowadzeniu drutu z kąpeli cynkowej stosowano zgarnianie nadmiaru cynku a następnie chłodzono ocynkowany drut natryskiem wodnym. Opracowaną metodę cynkowania nazwano Udarowe Wyżarzanie - Cynkowanie (UWC). Ba-

dania porównawcze wykonano na drutach ocynkowanych konwencjonalnie z topnikowaniem metodą suchą w układzie poziomym, przy czym temperatura kąpie-
li wynosiła $T_k 440 \div 460^\circ\text{C}$ czas cynkowania 5,9 s a prędkość przesuwu drutu 0,6 m/s.

2.3. Metodyka badań struktury powłok cynkowych

Dla określenia struktury powłok cynkowych posłużono się następującymi metodami badawczymi:

- obserwacjami struktur na mikroskopie świetlnym i elektronowym,
- mikroanalizą rentgenowską,
- rentgenowską analizą fazową.

Badania metalograficzne mikroskopowe przeprowadzono na mikroskopach świetlnych Neophot-2 firmy Carl Zeiss Jena oraz MeF firmy Reichert. Próbkę inkludowano w żywicy epoksydowej Epidian - 5. Zgłady wykonano przez polerowanie przy użyciu past diamentowych oraz trawienie w 0,5%-owym HNO_3 w alkoholu etylowym lub amyłowym. Obserwacje prowadzono na zgładach wzdłużnych i poprzecznych w zakresie powiększeń $120 \div 1300\times$. Na zgładach poprzecznych dokonano pomiarów grubości warstwy faz międzymetalicznych x_p . Wykonano 3 próbki z każdej partii drutu i po 3 pomiary na każdej z próbek. Z uzyskanych 9 wyników obliczono średnie \bar{x}_p i odchylenia standardowe σ_{x_p} . Zależności określające kinetykę wzrostu warstwy faz międzymetalicznych wyznaczono metodą regresji ważonej [18].

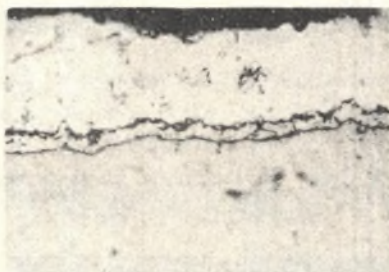
Badania w mikroskopie elektronowym JEM-6A firmy JEOL prowadzono przy wykorzystaniu techniki replik węglowych ekstrakcyjnych. Powłokę cynkową poddawano stopniowemu rozpuszczaniu w stężonym HNO_3 , a następnie płukano w wodzie destylowanej i suszono. Wybrane, po obserwacjach na mikroskopie świetlnym, miejsca napyłano węglem. Repliki zdejmowano elektrolitycznie w 10% roztworze kwasu nadchlorowego w acetonie, a następnie płukano w acetonie i w wodzie destylowanej. Dokonano obserwacji replik w zakresie powiększeń $10000+40000\times$ oraz wykonano dyfrakcję wyekstrahowanych cząstek faz międzymetalicznych.

Do wykonania badań mikroanalizy rentgenowskiej próbki drutu inkludowano w stopie Wooda i polerowano na pastach diamentowych i trawiono w 0,5% roztworze HNO_3 w alkoholu etylowym. Badania przeprowadzono w mikroanalizatorze JXA-50A firmy JEOL. Obejmowały one analizę rozkładu liniowego i powierzchniowego Fe, Zn i Al. Analizę wykonano przy napięciu przyspieszającym 25 kV i prądzie $1\div 2 \cdot 10^{-8}$ A. Uzyskane wyniki przyjęto za jakościowe ze względu na to, że średnica mikrowiązki elektronowej $\phi \approx 3 \mu\text{m}$ była większa od grubości analizowanych faz.

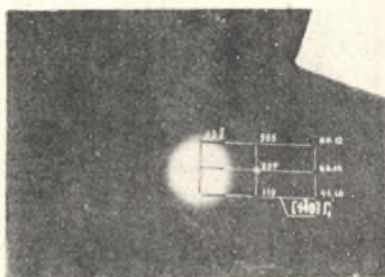
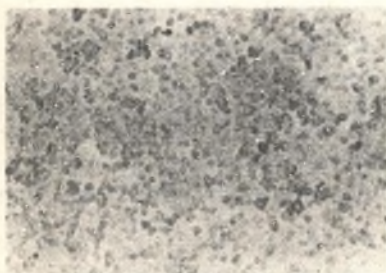
Rentgenowską analizę fazową przeprowadzono na preparatach pobranych mechanicznie z powłok cynkowych. Badania wykonano na dyfraktometrze DRON-2,0 produkcji ZSRR, stosując filtrowane promieniowanie anody żelaznej przy napięciu 30 kV i naprężeniu 10 mA. Szybkość przesuwu goniometru wynosiła $29 \cdot 10^{-5}$ rad/s. Uzyskane dyfraktogramy wyświadczyliśmy na podstawie tablic [19+22].

3. Wyniki badań i ich dyskusja

Powłoki cynkowe uzyskane metodą UWC [6, 15] cechowała cienka równomierna warstwa dyfuzyjna o strukturze zależnej przede wszystkim od zawartości Al w kąpieli, czasu cynkowania oraz od temperatury kąpieli i temperatury wejściowej drutu. Zewnętrzną warstwę powłok stanowił roztwór żelaza w cynku Zn η z drobnymi wydzieleniami faz międzymetalicznych - rys. 2.

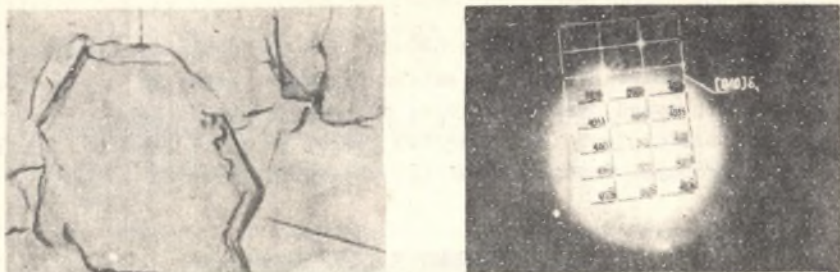


Rys. 2. Struktura powłoki uzyskanej metodą UWC, ($T_w = 800^\circ\text{C}$, $T_k = 450^\circ\text{C}$, $\tau_c = 3,5$ s, 0% Al). Warstwa dyfuzyjna złożona z faz Γ_1 , δ_1 i miejscami drobnych kryształów ξ . W zewnętrznej warstwie roztworu η drobne wydzielenia faz międzymetalicznych. Pow. 320x. Trawienie 0,5% Nital



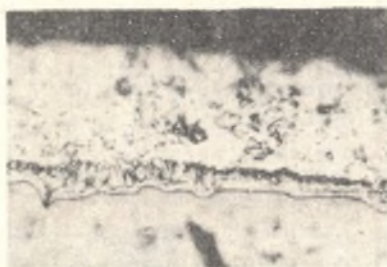
Rys. 3. Struktura warstwy przypowierzchniowej stali z powłoki uzyskanej metodą UWC, ($T_w = 750^\circ\text{C}$, $T_k = 450^\circ\text{C}$, $\tau_c = 3,5$ s, 0% Al). Replika węglowa ekstrakcyjna, pow. 15000x, a) drobne wydzielenia fazy Γ_1 , b) dyfrakcja wyekstrahowanych wydzieleni

Warstwę dyfuzyjną powłok uzyskanych w kąpielach nie zawierających dodatku Al tworzyła cienka drobnoziarnista strefa fazy Γ_1 - rys. 3 oraz znacznie grubsza strefa fazy δ_1 - rys. 4. Przy krótkich czasach cynkowania $\tau_c \leq 3,5$ s w powłoce nie występowała wyraźna strefa ξ , natomiast przy dłuższych czasach $\tau_c = 7$ s faza ξ w postaci strefy kryształów skupkowych powstawała jedynie przy niskiej temperaturze kąpieli cynkowej - rys. 5.



Rys. 4. Struktura warstwy dyfuzyjnej powłoki uzyskanej metodą UWC ($T_w = 750^\circ\text{C}$, $T_k = 450^\circ\text{C}$, $\tau_c = 3,5$ s, 0% Al). Replika węglowa ekstrakcyjna, pow. 12500x

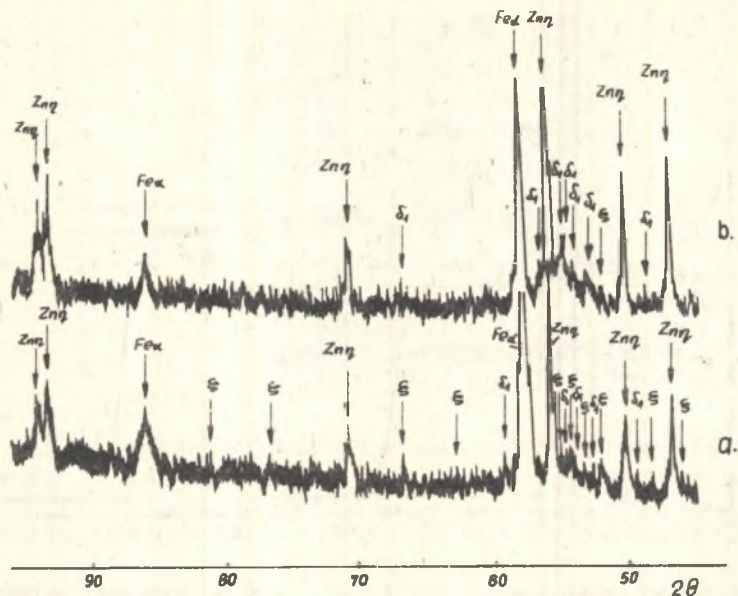
a) regularne kształty fazy δ_1 tworzące zewnętrzną strefę warstwy dyfuzyjnej, b) dyfrakcja wyekstrahowanych fragmentów ziarn



Rys. 5. Struktura powłoki uzyskanej metodą UWC - ($T_w = 750^\circ\text{C}$, $T_k = 430^\circ\text{C}$, $\tau_c = 7$ s, 0% Al). Warstwa dyfuzyjna ułożona z cienkiej ciemnej strefy fazy Γ_1 , jasnej zwartej strefy δ_1 oraz słupkowych kryształków ζ . W warstwie roztworu η liczne wydzielienia faz międzymetalicznych. Pow. 320x. Traw. 0,5% Nital

Zwiększony udział fazy ζ w powłoce przy niskich temperaturach kąpieli wykazała także rentgenowska analiza fazowa - rys. 6.

Struktura warstw dyfuzyjnych oraz kinetyka ich wzrostu zależna była od warunków termodynamicznych. W metodzie UWC były one zasadniczo różne od warunków cynkowania konwencjonalnego. Temperatura drutu i warstwy przysciennej ciekłego cynku w pierwszym okresie cynkowania (tzn. w czasie wyrównywania temperatury drutu i kąpieli) jest wyższa od temperatury krystalizacji fazy ζ - rys. 7 (495°C), [23]. Przy krótkich czasach cynkowania zbliżonych do czasów chłodzenia drutu tworzenie się fazy ζ w powłoce jest więc niemożliwe.



Rys. 6. Dyfraktogramy preparatów pobranych z powłok cynkowych uzyskanych metodą UWC

a - $T_w = 750^{\circ}\text{C}$, $T_k = 430^{\circ}\text{C}$, $\tau_c = 7\text{s}$, 0% Al, b - $T_w = 750^{\circ}\text{C}$, $T_k = 470^{\circ}\text{C}$, $\tau_c = 7\text{s}$, 0% Al

Wzrost warstwy faz międzymetalicznych podczas cynkowania z wysokiej temperatury wejściowej w kąpielii bez dodatku Al przebiegał z malejącą prędkością zgodnie z zależnością empiryczną (1) - rys. 8:

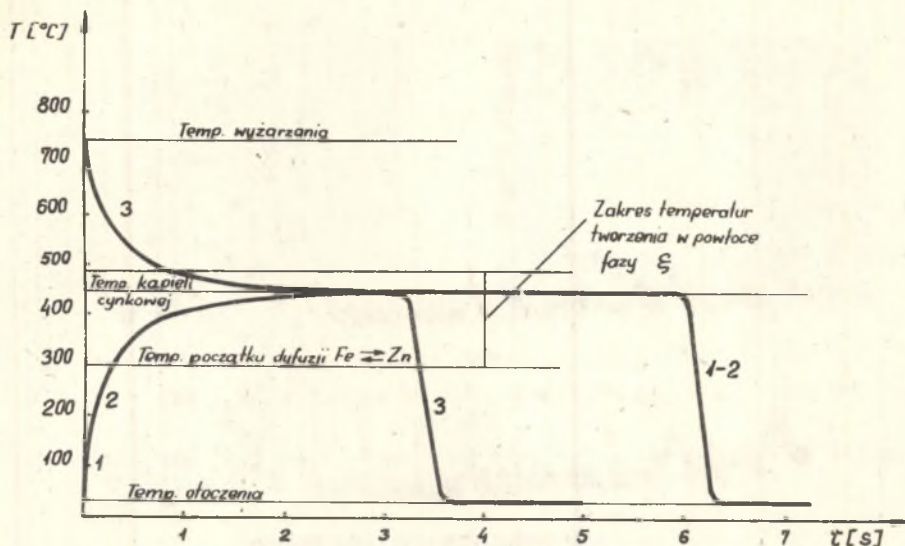
$$x_p = 3,47 \cdot \tau_c^{0,35} \quad (1)$$

gdzie:

x_p - grubość warstwy dyfuzyjnej w μm ,

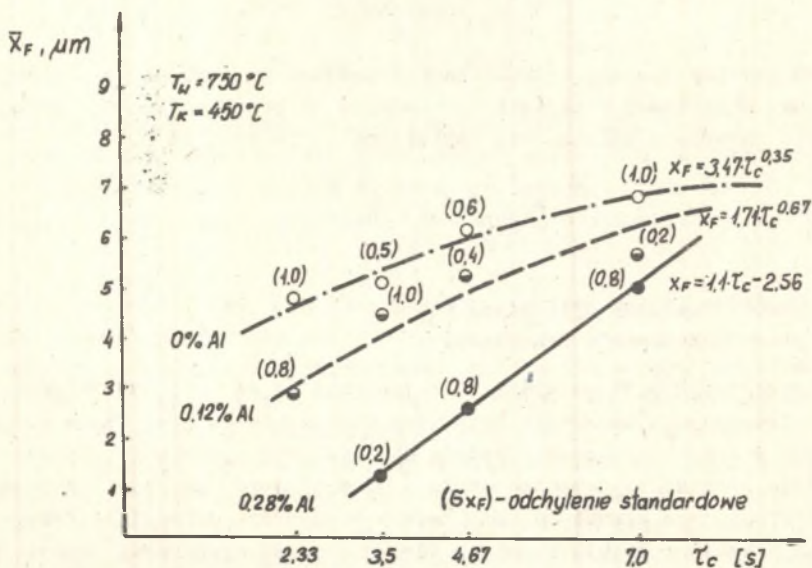
τ_c - czas cynkowania w sekundach.

Wartość wykładnika 0,35 we wzorze (1) jest niższa od 0,5, co świadczy o bardziej intensywnym hamowaniu prędkości narastania warstwy faz międzymetalicznych w czasie cynkowania metodą UWC niż przy cynkowaniu konwencjonalnym [24]. Wynika to prawdopodobnie z występowania podczas cynkowania metodą UWC ujemnego gradientu temperatury w warstwie dyfuzyjnej (stygnięcie drutu i warstwy przyściennej) w odróżnieniu od cynkowania konwencjonalnego (rys. 7), [25].

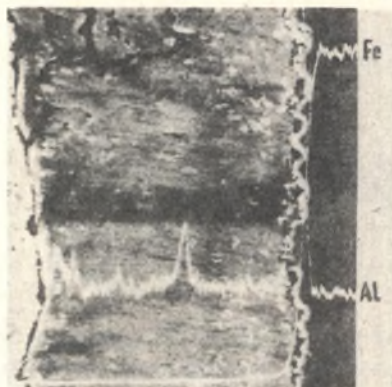


Rys. 7. Schemat zmian temperatury drutu w kąpielach cynkowych podczas cynkowania różnymi metodami:

1 - konwencjonalnie - z topnieniem metodą moką, 2 - konwencjonalnie - z topnieniem metodą suchą, 3 - metodą uderową wyżarzanie-cynkowanie



Rys. 8. Wpływ czasu cynkowania τ_c na grubość warstwy faz międzymetalicznych \bar{x}_F przy różnych zawartościach Al w kąpielach cynkowych. Cynkowanie metodą UWC ($T_w = 750^{\circ}\text{C}$, $T_k = 450^{\circ}\text{C}$)



Rys. 9. Liniowy rozkład Fe i Al w powłoce uzyskanej metodą UWC ($T_w = 750^\circ\text{C}$, $T_k = 450^\circ\text{C}$, $\tau_c = 3,5\text{s}$, $0,28\%$ Al). W strukturze powłoki widoczna bardzo cienka strefa dyfuzyjna. Wyraźny znaczny wzrost koncentracji Al przy powierzchni rozdziału Fe-Zn. Pow. 3000x. Traw. $0,5\%$ HNO_3 w alkoholu smyłowym.



Rys. 10a



Rys. 10b



Rys. 10c

Rys. 10a. Topograficzny obraz powierzchni drutu po usunięciu zewnętrznej warstwy Zn η . Pow. 1000x. cynkowanie metodą UWC ($T_w = 750^\circ\text{C}$, $T_k = 450^\circ$, $\tau_c = 3,5\text{ s}$, $0,28\%$ Al). Drobne wydzielenia fazy bogatej w Al
b - rozkład powierzchniowy Al, c - rozkład powierzchniowy Zn

Zmiana kinetyki dyfuzji i struktury warstwy dyfuzyjnej następowała przy wprowadzeniu do kąpieli cynkowej dodatku Al - rys. 8. Wzrost warstwy faz przebiegał wtedy zgodnie ze wzorami (2) i (3).

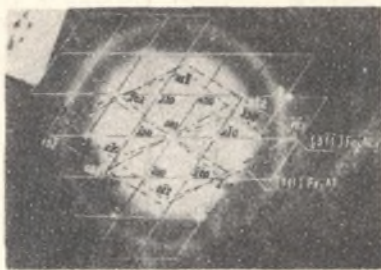
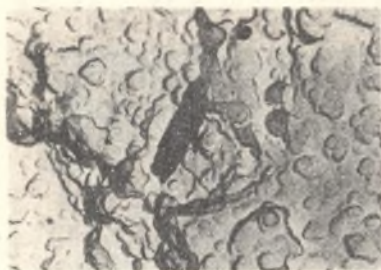
$$x_p = 1,71 \cdot \tau_c^{0,67} \quad (2)$$

przy dodatku 0,12% Al oraz

$$x_p = 1,1 \cdot \tau_c - 2,56 \quad (3)$$

przy dodatku 0,28% Al.

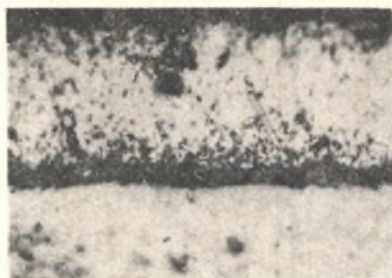
Porównanie zależności (1), (2) i (3) wskazuje na to, że dodatek Al oddziałuje w kierunku zwiększenia wykładnika limitującego szybkość wzrostu warstwy dyfuzyjnej oraz zmniejszenia stałej przedwykładniczej, która określa współczynnik dyfuzji. Ponadto, przy zawartości 0,28% Al w kąpieli cynkowej, występował okres hamowania dyfuzji Fe—Zn przez cienką warstwę bogatą w glin - rys. 9, 10, utworzoną przez fazy Fe_3Al i Fe_2Al_5 - rys.11,



Rys. 11. Struktura warstwy przypowierzchniowej z powłoki uzyskanej metodą UWC ($T_w = 750^{\circ}C$, $T_k = 450^{\circ}C$, $\tau_c = 3,5$ s, 0,28% Al). Replika ekstrakcyjna węglowa pow. 11000x

a - wydzielenia faz Fe_3Al , Fe_2Al_5 i $FeAl$, b - dyfrakcja wyekstrahowanych wydzielen

powstające w pierwszym etapie dyfuzji reaktywnej. Czas hamowania wynosił $\tau_H = 2,3$ s i był krótszy niż przy cynkowaniu konwencjonalnym ($\tau_H = 3+300$ s). Przy dłuższych czasach $\tau_c > \tau_H$ wzrost faz międzymetalicznych przebiegał ze stałą prędkością, wzór (3) wykładnik wynosił 1, a warstwa dyfuzyjna miała mało zwartą budowę - rys. 12. Potwierdza to przypuszczenie, że dyfuzja reaktywna Fe—Zn przy udziale glinu przebiega w warunkach małej szybkości reakcji powierzchniowych [26].



Rys. 12. Struktura powłoki uzyskanej metodą UWC ($T_w = 750^\circ\text{C}$, $T_k = 450^\circ\text{C}$, $\tau_c = 7\text{s}$, 0,28% Al. Warstwa faz międzymetalicznych o mało zwartej budowie. W zewnętrznej warstwie $\text{Zn}\eta$ widoczne drobne wydzielenia faz międzymetalicznych oraz duże iglaste kryształy fazy ξ . Pow. 520x. Traw. 0,5% Ni-tal

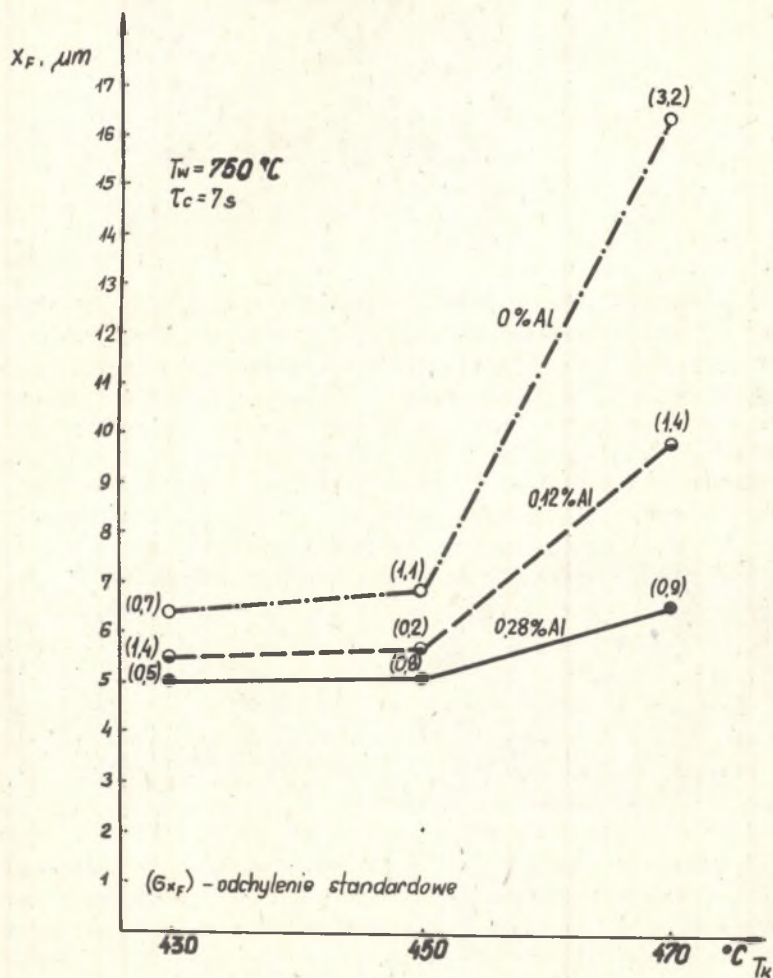
Przeprowadzone badania potwierdziły znaczny wpływ temperatury kąpielii na grubość warstwy faz międzymetalicznych - rys. 13. Intensywny wzrost warstwy faz występował przy podwyższeniu temperatury kąpielii do 470°C , to jest nieznacznie niższej niż przy cynkowaniu konwencjonalnym (490°C), [24].

Wpływ temperatury wyjściowej na grubość warstwy dyfuzyjnej x_p był mało widoczny przy zmianie T_w w zakresie $700\text{--}750^\circ\text{C}$ - rys. 14. Dalszy wzrost T_w do 800°C sprzyjał rozrostowi warstwy dyfuzyjnej. Oddziaływanie temperatury wejściowej na grubość warstwy faz było jednak mniejsze niż wpływ temperatury kąpielii. Stwierdzono ponadto, że w zakresie wysokich temperatur wyjściowych $T_w > 750^\circ\text{C}$ oddziaływanie dodatku Al na ograniczenie grubości warstwy dyfuzyjnej ulegało zmniejszeniu.

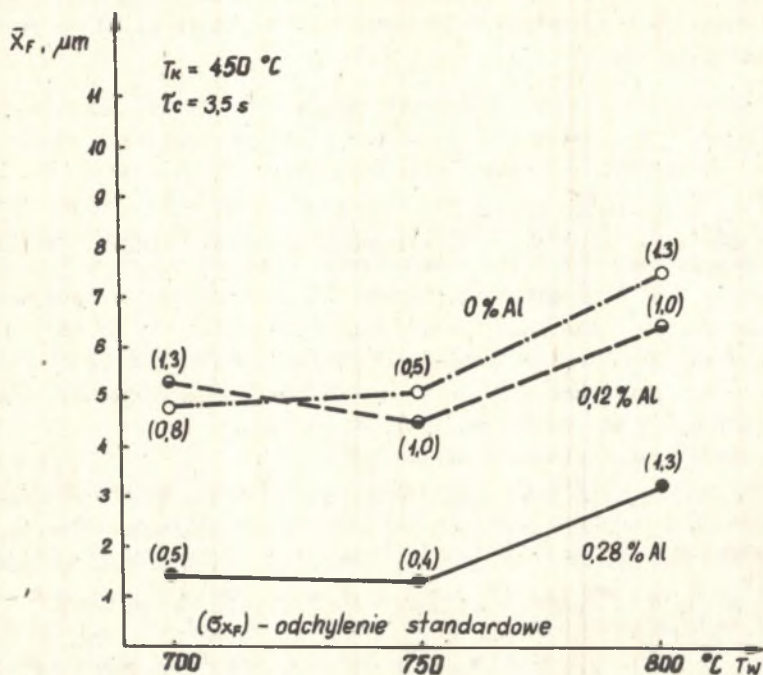
W odróżnieniu od powłok uzyskanych metodą UWC w powłokach konwencjonalnych zasadniczą część stanowiła gruba warstwa faz międzymetalicznych o szczególnie silnie rozbudowanej strefie kryształów słupkowych fazy ξ , zaś w zewnętrznej warstwie powłoki występowała mieszanina eutektyczna $\xi + \text{Zn}\eta$ - rys. 15.

4. Wnioski

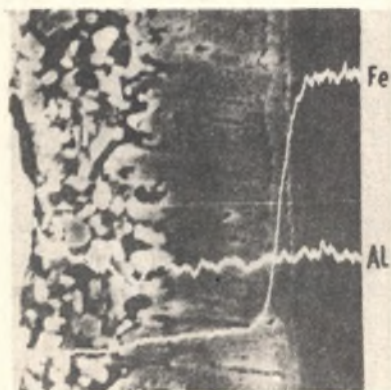
1. Podwyższona temperatura drutu przy wejściu do kąpielii cynkowej zmienia kinetykę dyfuzji reaktywnej $\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Zn}$ podczas cynkowania i umożliwia uzyskanie powłok pozbawionych kruchej fazy ξ .
2. Przy stosowaniu metody UWC (udarowe wyżarzanie - cynkowanie) możliwe jest otrzymanie powłok o korzystnych strukturach charakteryzujących się cienką równomierną warstwą dyfuzyjną i znacznie szerszą warstwą roztworu stałego $\text{Zn}\eta$.



Rys. 13. Wpływ temperatury cynkowania T_k na grubość warstwy faz międzymetalicznych \bar{X}_F przy różnych zawartościach Al w kąpielach cynkowych



Rys. 14. Wpływ temperatury wyjściowej drutu T_w na grubość warstwy faz międzymetalicznych \bar{x}_F przy różnych zawartościach Al w kąpielii cynkowej



Rys. 15. Liniowy rozkład Fe i Al w powłoce uzyskanej metodą konwencjonalną. Szeroka warstwa dyfuzyjna złożona z faz Γ , δ_1 i ζ . Zewnętrzną warstwę powłoki stanowi mieszanina eutektyczna $\eta + \zeta$. Brak Al w kąpielii cynkowej. Pow. 3000x. Traw. 0,5% HNO_3 w alkoholu amylowym

3. Dodatek Al do kąpielii cynkowej hamuje przebieg dyfuzji reaktywnej Fe—Zn poprzez wytworzenie cienkiej strefy faz Fe_3Al i Fe_2Al_5 . Wraz ze wzrostem temperatury wejściowej oddziaływania glinu na wzrost faz Fe—Zn zmniejsza się.

LITERATURA

- [1] Mohler J.B.: Metal Finish. 71, 1973, 8, s. 37.
- [2] Slunder C.J., Boyd W.K.: Korozionnaja stojkost cinka - Moskwa Mietałkurg. 1976.
- [3] Sokołow W.N. i inni: Stal, 1962, 4, s. 368.
- [4] Funke P., Pavlidis Ch.: Stahl u Eisen 92, 1972, 18, s. 867.
- [5] Horstmann D.: Stahl u Eisen 87, 1967, 6, s. 331.
- [6] Szota J.: Praca doktorska - nie publikowana Bibl. Pol.Śl. -Gliwice.
- [7] Kurski K.: Wiad. Hutnicze, 1965, 5, s. 145.
- [8] Handbuch Feuerverzinken - Lipzig 1970,
- [9] Bugakow W.Z.: Diffuzja w mietałkach i spławach, Moskwa 1949.
- [10] Harvey G.J., Mercer P.D.: Metall. Trans. 4, 1973, s. 619.
- [11] Yamaguchi H., Hisamatsu Y.: J. Iron Steel Inst. Jap. 59. 1973. 14, s. 118.
- [12] Szymańska H. i inni: Arch. Hutn. PAN 22. 1977, 4, s. 651.
- [13] Szymańska H. i inni: Arch. Hutn. PAN. 23. 1978, 1, s. 83.
- [14] Niżenko W.I. i inni: Dokłady AN SSSR tom 205, 1972 No4 s. 919.
- [15] Cieślak Ł., Szota J.: Materiały Międzynarodowego Sympozjum Ciągarskiego, Ciechocinek 1978.
- [16] Staub P. i inni: Zeszyty Naukowe Pol.Śl. - Mechanika z. 29 1967.s.27.
- [17] Cieślak Ł. i inni: Zeszyty Naukowe Pol.Śl. - Mechanika z. 29 1967 s. 37.
- [18] Czerwiński i inni: Metody statystyczne w doświadczalnictwie chemicznym. PWN, Warszawa 1974.
- [19] Bastin G.F. i inni: Z. Metallkunde, 67, 1976, 10, s. 694.
- [20] Bastin G.F. i inni: Z. Metallkunde, 65, 1974, 10, s. 656.
- [21] Bastin G.F. i inni: Z. Metallkunde 69, 1978. 10, s. 540.
- [22] Gorelik S.S. i inni: Rentgenowski i elektronograficzny Analiz, Priłożenija. Moskwa 1970.
- [23] Ghonlem M.A., Löhnberg: Metall, 26. 1972, s. 1026.
- [24] Horstmann D., Peters F.K.: Z. Metallkunde 90, 1970, 20, s. 1106.
- [25] Audyszyn A.P. i inni: Izv. AN. SSSR - Mietałki, 1977, 2, s. 121.
- [26] Seith W., Heumann T.: Diffusion in Mettallen, Berlin 1955.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ ПОКРЫТИЙ
НА СТАЛЬНЫХ ПРОВОЛОКАХ

Резюме

В исследованиях определено влияние параметров горячего цинкования при применении высоких входных температур проволоки в цинковые ванны на структуру покрытий на проволоках из низкоуглеродистой стали. Установлено, что повышенная температура проволоки при входе в цинковую ванну изменяет кинетику реактивной диффузии $Fe \rightleftharpoons Zn$ и делает возможным получить покрытия безвредной ломкой фазы $\zeta FeZn_{13}$. Вместе с увеличением входной температуры уменьшается тормозящее воздействие присадки алюминия на рост фаз Fe-Zn

THE INFLUENCE OF HOT GALVANIZING ON THE STRUCTURE
OF ZINC COATS ON STEEL WIRES

Summary

The paper defines the influence of hot galvanizing parameters, employing high entry temperatures of wire in zinc baths on the structure of zinc coats on low-carbon steel wires. It has been stated that the heightened wire temperature at the zinc bath input changes the kinetics of reactive diffusion of $Fe-Zn$, and enables to obtain the coats without the brittle phase of $FeZn_{13}$. Along with the entry temperature growth, the retarding influence of aluminium addition on the Fe - Zn phases growth diminishes.