

Lech BAJKA, Jan SZYMSZAL

Instytut Inżynierii Materiałowej

BADANIA NAD PODWYŻSZENIEM ŻAROODPORNOŚCI STALI H25N20S2, STOPU N80H20 ORAZ ŻELAZA "ARMCO" DYFUZYJNYMI POWŁOKAMI ALUMINIOWYMI

Streszczenie. Artykuł omawia przebieg oraz wyniki badań podwyższenia żaroodporności elementów oprzyrządowania pieców emalierskich wykonanych ze stali H25N20S2, stopu N80H20 oraz żelaza "Armco" drogą nanoszenia na ich powierzchnie dyfuzyjnych powłok aluminiowanych metodą zanurzeniową. Elementy te w trakcie pracy nagrzewane są cyklicznie do temp. 1000°C w atmosferze utleniającej oraz chłodzone do temp. pokojowej. Przedstawiono proces optymalizacji parametrów procesu aluminiowania, tzn. dobór składu chemicznego i temperatury kąpieli aluminium oraz czasu zanurzania w odniesieniu do żądanej żaroodporności elementów. Próba wysokotemperaturowego utleniania składała się z 24 cykli nagrzewu do temp. 1000°C oraz chłodzenia do temp. pokojowej. Uznano za celowe pokrywanie stali H25N20S2 powłoką w kąpieli stopu Al-Si zawierającego 4-6% Si. Aluminiowanie stopu N80H20 uznano za niecelowe. Żelazo "Armco" stanowiło grupę porównawczą.

1. Wprowadzenie

Szereg źródeł literaturowych podkreśla znaczny wpływ dyfuzyjnych powłok aluminiowych nanoszonych metodą zanurzeniową na podwyższenie żaroodporności, zarówno stopów typu Fe-C, jak i Fe-Ni-Cr-C, czy też Ni-Cr. Przykładowo stwierdzone [1], iż w wyniku aluminiowania stali węglowej o zawartości 0,2% C, powłoką o grubości 400÷600 μm, przyrost jej masy w wyniku 100-godzinne go wyżarzania w atmosferze utleniającej w temp. 1000°C obniżył się z 1700 do 300 g/m² w porównaniu ze stalą niealuminowaną. Podobny wpływ na wzrost żaroodporności posiadają powłoki aluminiowe naniesione na żeliwie szarym. I tak dyfuzyjna powłoka aluminiowa o całkowitej grubości rzędu 220÷240 μm naniesiona na żeliwie Z1-20 obniża przyrost jego masy po wyżarzaniu przez okres 400 godz. w atmosferze utleniającej o temp. 850°C z 27 do 2 g/dcm² [2]. W równie szerokim zakresie dyfuzyjne powłoki aluminiowe stosowane są dla podwyższania żaroodporności austenitycznych stali wysokoniklowo-chromowych, jak i stopów typu Ni-Cr. Przyrost masy austenitycznej w stali 4H25N20S2L o składzie chemicznym C-0,34±0,40%; Mn - max. 1,5%; Si - 2,0±3,0%; Cr ÷ 24-27%; Ni ÷ 18±24%; poddanej wyżarzaniu w atmosferze utleniającej w temp. 1100°C przez okres 1600 godz. obniżył się w wyniku pokrycia jej powierzchni dyfuzyjną powłoką aluminiową o grubości 100 μm z 800 do 600 g/m² [3].

Dyfuzyjne powłoki aluminiowe podwyższają żaroodporność stali oraz stopów niklowo-chromowych w atmosferze utleniającej w zakresie temperatur do 1000°C.

Żaroodporne własności dyfuzyjnych powłok aluminiowych zależą głównie od ich grubości, struktury oraz składu chemicznego, co uzyskuje się drogą odpowiedniego doboru parametrów procesu aluminiowania zanurzeniowego.

Najistotniejszym kryterium doboru parametrów żaroodpornych dyfuzyjnych powłok aluminiowych, a tym samym parametrów procesu aluminiowania, jest zachowanie stałej koncentracji Al w warstwie wierzchniej wyrobu, co gwarantuje ciągłe odtwarzanie się na ich powierzchni żaroodpornej warstewki Al_2O_3 . Ciągły spadek koncentracji Al w warstwie wierzchniej wyrobów poddanych wysokotemperaturowemu wyżarzaniu w atmosferze utleniającej spowodowany jest dwoma zjawiskami, a to: utlenianiem się powierzchni i związanym z nim przechodzeniem Al z powłoki do Al_2O_3 oraz ciągłą dyfuzją Al w pokryte podłoże [4].

Oba wymienione zjawiska obniżają żaroodporne własności poaluminiowanych elementów zarówno ze stopów typu: Fe-C czy też Ni-Cr.

Potwierdzeniem są wyniki pracy [5], w której badano wpływ koncentracji Al w powłoce utworzonej na wysokoniklowym stopie żaroodpornym typu ZS6-K o składzie chemicznym: Cr 9,5÷12%; Co 4÷5%; W 4,5÷5,5%; Mo 3,5÷4,8%; Ti 2,5÷3,2%; Al 5÷6%; Ni-reszta.

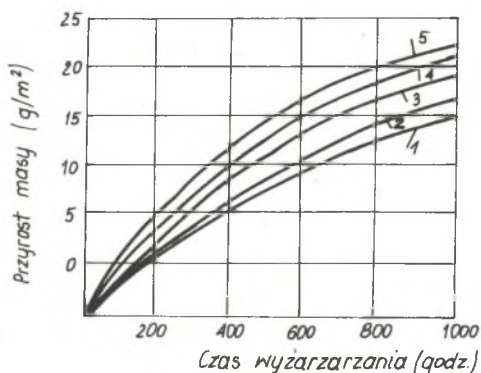
Drogą wstępnego wyżarzania w różnych parametrach poaluminiowanego stopu ZS6-K, uzyskano próbki o następujących koncentracjach wyjściowych Al w powłoce: 43%, 36%, 30% i 18%. Tak przygotowane próbki poddano następnie wysokotemperaturowemu utlenianiu w temp. 1000°C przez okres 1000 godz.

Stwierdzono (patrz rys. 1) zwiększony przyrost masy próbek wraz ze spadkiem koncentracji Al w powłoce.

W praktyce wzrost żaroodporności dyfuzyjnych powłok aluminiowych uzyskuje się poprzez: zwiększenie grubości poszczególnych warstw składowych powłok o określonym udziale składników strukturalnych typu Fe-Al w stopach Fe-C lub Ni-Al w stopach na bazie Ni, o znanej koncentracji Al, wprowadzenie do powłok pierwiastków podwyższających żaroodporność, gdzie najczęściej stosowanymi są Cr i Si. Pierwiastki te wstrzymują przyrost masy utlenionych stali, nawet stali węglowych nie zawierających dodatków stopowych [6]. W niektórych pracach [7] podjęto wręcz próbę analitycznego określenia czasu - t, będącego 24 godzinną żywotnością żaroodpornych powłok aluminiowych poddanych wysokotemperaturowemu utlenianiu w zależności od: koncentracji krytycznej Al w danej warstwie powłoki - C_k (g/m^3), której obniżenie jest równoznaczne z utratą własności żaroodpornych, grubości poszczególnych warstw - x(cm) oraz współczynnika dyfuzji aluminium w rozpatrywanej fazie powłoki - D($cm^2/24$ godzin).

Wyrażenie takie posiada postać:

$$t = 1,67 \cdot x^2 \cdot \frac{\pi}{C_k^2 \cdot D} \quad (1)$$



Temperatura wyżarzania / koncentracja aluminium w powłoce/

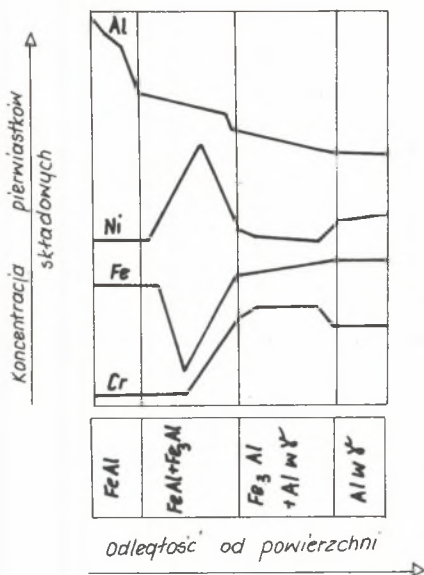
1. 700°C (43 % Al)
2. 850°C (36 % Al)
3. 950°C (30 % Al)
4. 1100°C (18 % Al)
5. 1200°C

Rys. 1. Wpływ koncentracji Al w powłoce na wysokoniklowym stopie ŻS6-K, na przyrost masy w trakcie wyżarzania w atmosferze utleniającej w temp. 700-1200°C [5]

Zatem żaroodporność powłok jest ściśle uzależniona od jej struktury, grubości oraz składu chemicznego, a co za tym idzie od parametrów i przebiegu procesu aluminowania. Parametrami aluminowania, które w stopniu zasadniczym decydują o formowaniu się dyfuzyjnych powłok aluminowych, są: skład chemiczny, temperatura kąpieli oraz czas zanurzenia pokrywanych wyrobów [8].

Stwierdzono [9], że powłoki aluminowe na stopach Fe-C zbudowane są z dwóch podstawowych warstw zawierających: zewnętrzną warstwę - krystality skupkowe $FeAl_3$ oraz otaczająca je mieszanina eutektyczna Al + $FeAl_3$; przejściowa warstwa - głównie krystality skupkowe Fe_2Al_5 oraz cienka, granicząca z warstwą zewnętrzną, warstewka drobnych krystalitów $FeAl_3$.

Powłoki aluminowe na stopach na bazie Ni również posiadają dwuwarstwową budowę. Tworzenie się składników strukturalnych powłok na stopach tego typu ma ścisły związek z rozkładem pierwiastków podłoża i powłoki w warstwie wierzchniej pokrytego wyrobu (patrz rys. 2) i zachodzi głównie w układzie Fe-Ni-Al lub Ni-Al [10]. Powłoki aluminowe nanoszone na stopach



Rys. 2. Rozkład pierwiastków składowych podłoża i powłoki oraz składników fazowych w warstwie wierzchniej wysokoniklowo-chromowej stali austenitycznej H25N20S2 aluminiowaną metodą gazową w próżni [10]

wysokoniklowych metodami dyfuzyjnymi niezanurzeniowymi, składają się głównie z faz: NiAl oraz Ni₃Al [10, 11]. Inne źródła [12] nadmieniają o możliwości występowania NiAl₃, Ni₂Al₃, NiAl oraz Ni₃Al. Autorzy większości publikacji [10-12] zgodni są co do zachodzenia przemian fazowych w trakcie wyżarzania powłoki, zmierzających do obniżenia koncentracji Al a wzrostu Ni w powłoce. Z tego względu podkreśla się, iż po czasie wyżarzania ok. 200÷500 godzin w zakresie temperatur 900÷1100°C dominującą fazą powłok aluminiowych na stopach Ni jest NiAl.

Przyrost grubości poszczególnych warstw w trakcie formowania powłoki zachodzi wraz ze wzrostem czasu zanurzenia oraz temperatury kąpieli. Grubość warstwy zewnętrznej powłok na stopach Fe-C rośnie parabolicznie w czasie, przy założeniu stałej temperatury kąpieli [13]:

$$x = 2 \sqrt{D \cdot t} \quad (2)$$

gdzie:

- x - grubość warstwy zewnętrznej (cm),
- D - współczynnik dyfuzji Fe do kąpieli Al (cm²/s),
- t - całkowity czas zanurzenia w kąpieli (s).

Przyrost grubości warstwy przejściowej (dyfuzyjnej), po ustaleniu się warunków procesu, zachodzi liniowo przy stałej temperaturze kąpieli [13, 14].

Poczyniono również szereg prób nad analitycznym ujęciem zależności przyrostu warstwy przejściowej zarówno od temperatury kąpieli, jak i czasu zanurzenia. Jedno z wyrażeń [15] posiada postać:

$$x = 3,5 \cdot 10^3 \sqrt{t} \cdot e^{-\frac{270}{RT}} \quad (3)$$

gdzie:

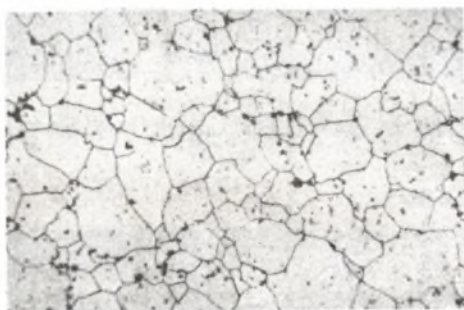
- x - grubość warstwy przejściowej (cm),
- t - czas zanurzenia (s),
- T - temp. bezwzględna kąpeli (deg),
- R - stała gazowa ($J \cdot deg^{-1} \cdot mol^{-1}$).

Przebiegowi oraz wynikom badań nad doбором parametrów dyfuzyjnych powłok aluminiowych oraz celowością stosowania tej technologii celem podwyższenia żaroodporności stali H25N20S2 i stopu N80H20 stosowanych do wytwarzania elementów oprzyrządowania pieców do wypalania emalii oraz wykorzystanego w formie grupy kontrolnej żelaza "Armco" poświęcony jest niniejszy artykuł.

2. Przebieg i rezultaty badań

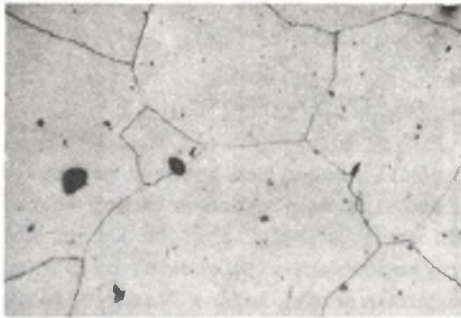
2.1. Materiały do badań

Do badań wytypowano dwa rodzaje materiałów żaroodpornych. Austenityczną stal H25N20S2 zawierającą: C-0,10%; Si-2,42%; Mn-1,09%; Cr-23,90%; Ni-19,59% (patrz rys. 3) oraz stop N80H20 o strukturze austenitycznej (rys. 4) i składzie chemicznym: C - 0,15%; Si - 0,4÷1,3%; Mn - 0,7%; Cr - 20÷23%; Fe - 1,0%; Ni - 75÷78%; Al - 0,2%.

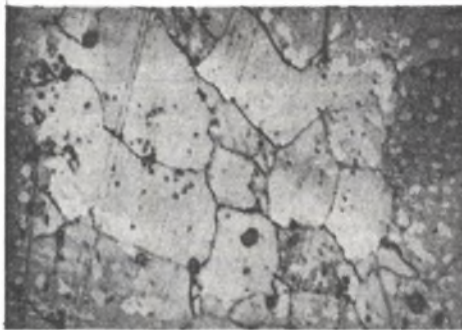


Rys. 3. Struktura austenityczna stali H25N20S2. Traw. elektrolityczne. Pow. 250x

Jako grupę porównawczą przyjęto do badań żelazo "Armco", będące materiałem nie wykazującym własności żaroodpornych (rys. 5).



Rys. 4. Struktura austenityczna stopu N80H20. Traw. elektrolityczne. Pow. 250x



Rys. 5. Struktura ferrytyczna żelaza "Armco". Traw. nitalem. Pow. 250x

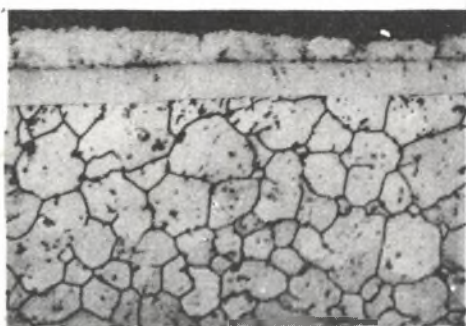
2.2. Proces aluminowania

Z materiałów przeznaczonych do badań wykonano próbki o średnicy 10 mm i długości 75 mm.

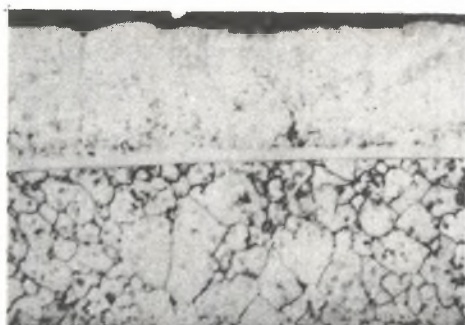
Proces aluminowania przeprowadzono w 2 kąpielach: 99,99% Al oraz stopie Al-Si o zawartości 6% Si. Temperatura obu kąpielii wynosiła 730°C.

Próbki zanurzano do kąpielii na okres 1, 3, 5, 7 i 9 minut. Badania strukturalne wykazały, że powłoki uzyskane zarówno na materiałach żaroodpornych: stali H25N20S2 i stopie N80H20, jak i na żelazie "Armco" posiadały budowę dwuwarstwową. Powłoki składały się z warstwy zewnętrznej i przejściowej (rys. 6-11).

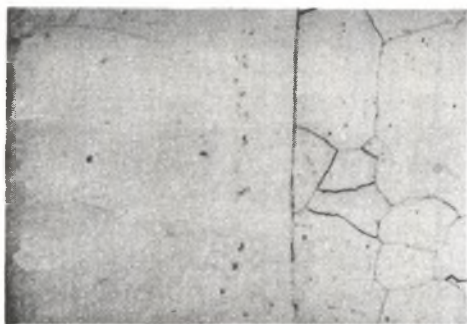
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów grubości aluminowych warstw na badanych materiałach wykreślono zależność grubości składowych warstw powłok od czasu trwania zanurzenia przy stałej temperaturze (rys. 12-14) kąpielii równej 730°C.



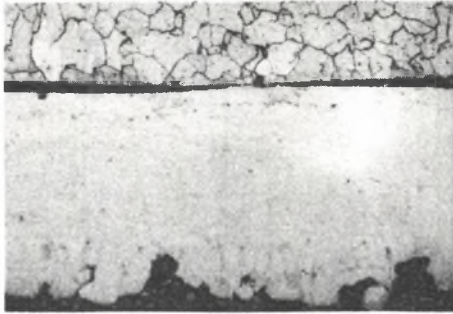
Rys. 6. Powłoka aluminiowa na stali H25N20S2 uzyskana w czasie 5 min. w kąpeli 99,99% Al. Temp. kąpeli 730°C. Traw. elektrolityczne. Pow. 250x



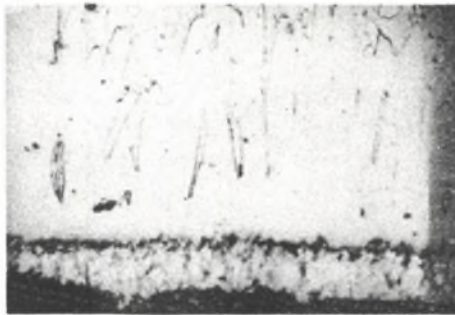
Rys. 7. Powłoka aluminiowa na stali H25N20S2 uzyskana w czasie 5 min. w kąpeli 94% Al + 6% Si. Temp. kąpeli 730°C. Traw. elektrolityczne. Pow. 250x



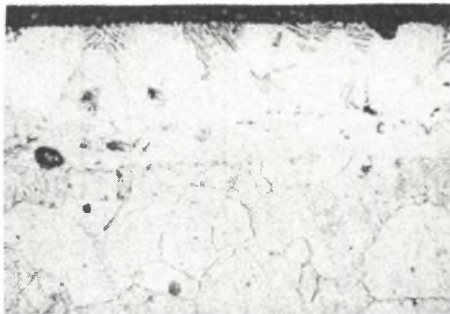
Rys. 8. Fragment powłoki aluminiowej na stopie Ni80H20 uzyskanej w kąpeli 99,99% Al w czasie 5 min. Temp. kąpeli 730°C. Traw. elektrolityczne. Pow. 100x



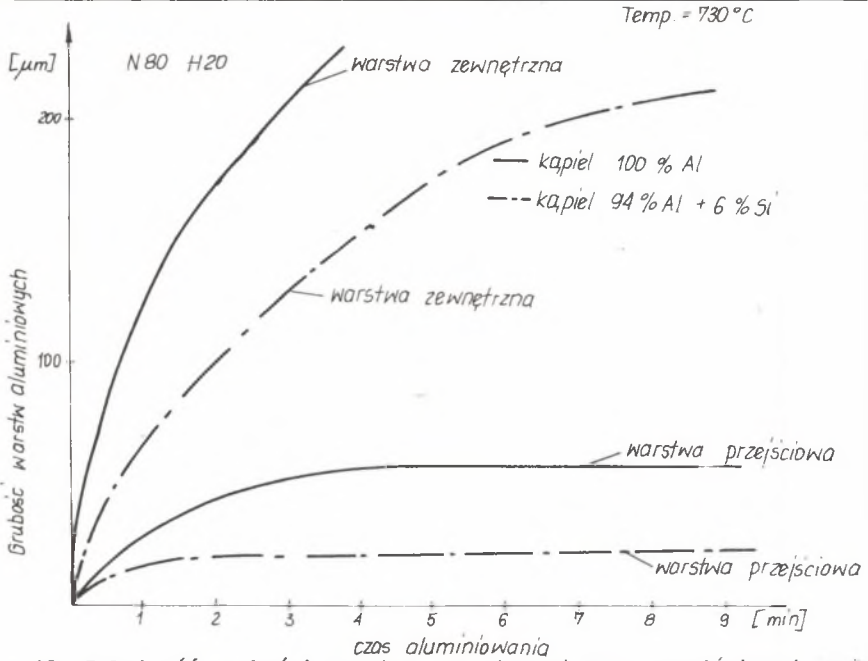
Rys. 9. Fragment powłoki aluminiowej na stopie Ni80H20 uzyskanej w kąpielii zaw. 6% Si + 94% Al w czasie zanurzenia 5 min. Temp. kąpielii 730°C. Traw. elektrolityczne. Pow. 100x



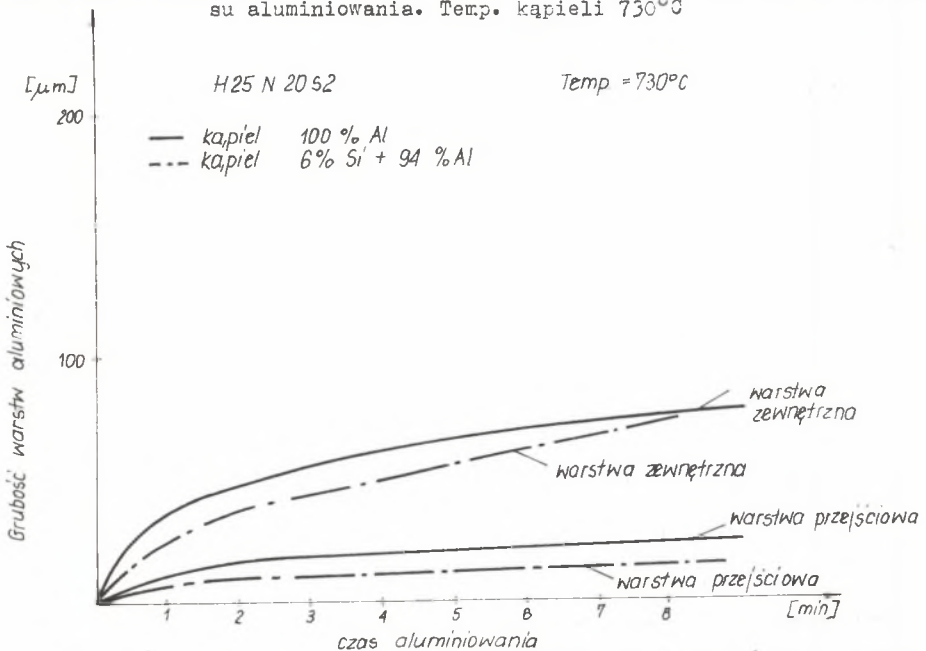
Rys. 10. Powłoka aluminiowa uzyskana na żelazie "Armco" w czasie 5 min. z kąpielii 99,99% Al. Temp. kąpielii 730°C. Traw. nitalem. Pow. 250x



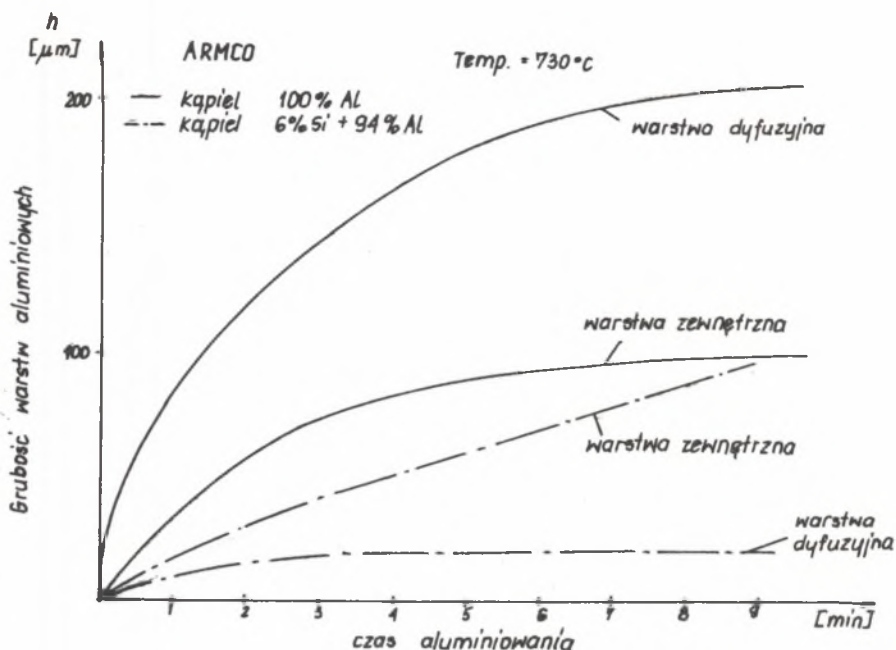
Rys. 11. Powłoka aluminiowa uzyskana na żelazie "Armco" w czasie 5 min. w kąpielii 94% Al + 6% Si. Temp. kąpielii 730°C. Traw. nitalem. Pow. 250x



Rys. 12. Zależność grubości warstwy zewnętrznej oraz przejściowej powłoki uzyskanej w kąpieliach 99,99% Al i 94% Al + 6% Si na stopie N80H20 od czasu aluminiowania. Temp. kąpieli 730°C



Rys. 13. Zależność grubości warstwy zewnętrznej oraz przejściowej uzyskanej w kąpieli 99,99% Al i 94% Al + 6% Si na stali H25N20S2 od czasu aluminiowania. Temp. kąpieli 730°C



Rys. 14. Zależność grubości warstwy zewnętrznej oraz przejściowej powłoki uzyskanej w kąpeli 99,99% Al i 94% Al + 6% Si na żelazie "Armco" od czasu aluminiowania. Temp. kąpeli 730°C

2.3. Przebieg i parametry procesu wyżarzania

Badania żaroodporności przeprowadzono zgodnie z rzeczywistymi warunkami pracy badanych materiałów w procesie technologicznym wyżarzania powłok emalierskich. Próbkę ułożono pionowo w pojemniku, po czym przeprowadzono 24 cykle kolejnego nagrzewu i chłodzenia. Jednostkowy cykl składał się z nagrzewania w atmosferze utleniającej przez okres 30 minut w temp. 1000°C oraz chłodzenia do temperatury pokojowej również przez okres 30 minut.

Bezpośrednio po przeprowadzonym procesie wyżarzania została przeprowadzona wstępna ocena wzrokowa stopnia utleniania. Wygląd próbek po wyżarzaniu przedstawiono na rys. 15-20.

Przeprowadzono także badania metalograficzne wyżarzonych powłok aluminiowych naniesionych w czasie 1 minuty (rys. 21-26).



Rys. 15. Wygląd próbek ze stali H25N20S2 aluminiowanych w kąpielu 99,99% Al po procesie wyżarzania w temp. 1000°C przez 24 cykle



Rys. 16. Wygląd próbek ze stali H25N20S2 aluminiowanych w kąpielu 94% Al + 6% Si po procesie wyżarzania w temp. 1000°C przez 24 cykle



Rys. 17. Wygląd próbek ze stopu N80H20 aluminiowanych w kąpielu 99,99% Al po procesie wyżarzania w temp. 1000°C przez 24 cykle



Rys. 18. Wygląd próbek ze stopu N80H20 aluminiowanych w kąpielu 94% Al + 6% Si po procesie wyżarzania w temp. 1000°C przez 24 cykle



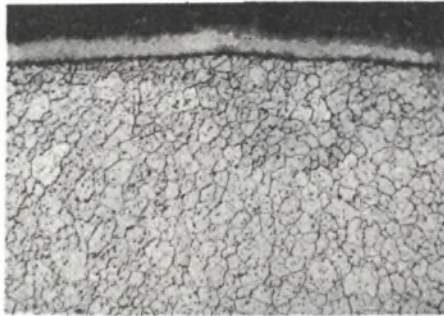
Rys. 19. Wygląd próbek z żelaza "Armco" aluminiowanych w kąpielu 99,99% Al po procesie wyżarzania w temp. 1000°C przez 24 cykle



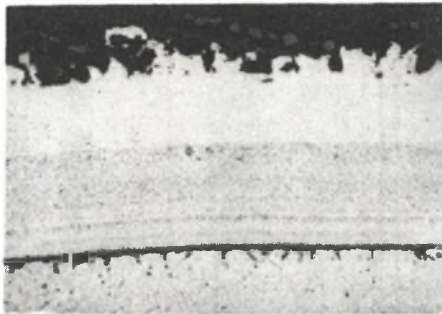
Rys. 20. Wygląd próbek z żelaza "Armco" aluminiowanych w kąpielu 94% Al + 6% Si po procesie wyżarzania w temp. 1000°C przez 24 cykle



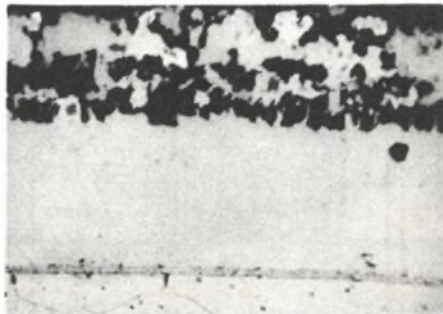
Rys. 21. Powłoka aluminiowa na stali H25N20S2 uzyskana w kąpielu 99,99%Al w czasie 1 min. po wyżarzaniu w temp. 1000°C przez 24 cykle. Traw. elektrolityczne. Pow. 100x



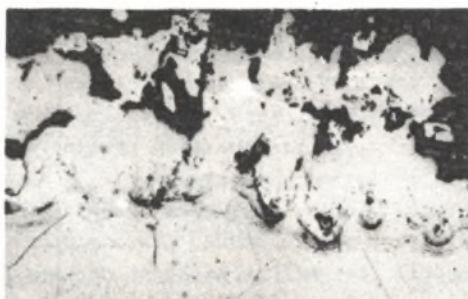
Rys. 22. Powłoka aluminiowa na stali H25N20S2 uzyskana w kąpielii 94% Al + 6% Si w czasie 1 min. po wyżarzaniu w temp. 1000°C przez 24 cykle. Traw. elektrolityczne. Pow. 100x



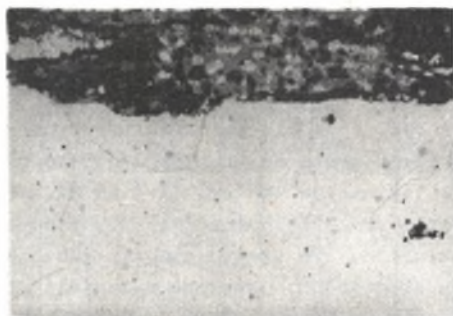
Rys. 23. Fragment powłoki aluminiowej na stopie Ni80H20 uzyskanej w kąpielii 99,99% Al w czasie 1 min. po procesie wyżarzania w temp. 1000°C przez 24 cykle. Traw. elektrolityczne. Pow. 100x



Rys. 24. Fragment powłoki aluminiowej na stopie Ni80H20 uzyskanej w kąpielii 94% Al + 6% Si w czasie 1 min. po procesie wyżarzania w temp. 1000°C przez 24 cykle. Traw. elektrolityczne. Pow. 100x



Rys. 25. Powłoka aluminiowa na żelazie "Armco" uzyskana w kąpielii 99,99%Al w czasie 1 min. po wyżarzaniu w temp. 1000°C przez 24 cykle. Traw. nital-em. Pow. 100x



Rys. 26. Powłoka aluminiowa na żelazie "Armco" uzyskana w kąpielii 94% Al+6% Si w czasie 1 min. po wyżarzaniu w temp. 1000°C przez 24 cykle. Traw. nital-em. Pow. 100x

3. Dyskusja wyników

Przeprowadzone badania potwierdziły możliwość uzyskania metodą zanurzeniową dyfuzyjnych powłok aluminiowych na stali H25N20S2 oraz żelazie "Armco" zarówno w kąpielii czystego aluminium (99,99% Al), jak i stopu Al-Si (6% Si). Stwierdzono natomiast pękanie i odpryskiwanie powłok aluminiowych na stopie N8OH2O szczególnie otrzymanych w kąpielii z zawartością 6% Si. Uzyskane powłoki we wszystkich przypadkach posiadały budowę dwuwarstwową (patrz rys. 6-11). Składały się one z warstwy zewnętrznej i przejściowej. Grubość warstwy zewnętrznej otrzymanych powłok rośnie parabolicznie wraz ze wzrostem czasu zanurzania (patrz rys. 12-14), natomiast warstwy przejściowej, po ustaleniu się warunków procesu, wzrasta liniowo.

Stosunkowo małą grubość przy tych samych czasach aluminiowania posiadały powłoki na stali H25N20S2 w porównaniu z grubościami powłok na stopie N80H20 i żelazie "Armco" (patrz rys. 12-14). Stwierdzono, że aluminiowe powłoki na stali H25N20S2 oraz żelazie "Armco" były równomierne i ciągłe (rys. 6, 7, 10 i 11), przy czym dodatek krzemu w ilości 6% do kąpielii Al znacznie zmniejszył grubość warstwy przejściowej w powłokach na wszystkich badanych tworzywach (patrz rys. 7, 9, 11, 12-14). Zjawisko to spowodowane jest zmniejszeniem szybkości dyfuzji Al w pokrywany materiał.

Powłoki aluminiowe na stopie N80H20 posiadały dużą nierównomierność oraz przerwy ciągłości. Szczególnie niską jakość posiadały powłoki otrzymane w kąpielii 94% Al + 6% Si na N80H20 (rys. 9), które wykazywały liczne ślady łuszczenia i odwarstwiania się od podłoża.

Uzyskane przez dodatek krzemu do kąpielii aluminiowej zmniejszenie szybkości dyfuzji w pokrywane podłoże ma szczególne znaczenie w zachowaniu żaroodpornych własności dyfuzyjnych powłok aluminiowych, hamuje ono bowiem spadek koncentracji aluminium w warstwie wierzchniej w wysokotemperaturowym środowisku pracy. Potwierdzeniem powyższej analizy są wyniki badań żaroodporności. Wstępna ocena wzrokowa wyżarzonych próbek (rys. 15-20) stwierdziła jednorodną i ciągłą warstewkę Al_2O_3 na próbkach ze stali H25N20S2 aluminiowanych w kąpielii 94% Al + 6% Si niezależnie od czasu ich zanurzania (patrz rys. 16). Dla warunków przeprowadzonych badań żaroodporności za wystarczająco grubą można uznać powłokę aluminiową naniesioną na H25N20S2 w czasie 1-2 min. w kąpielii Al z 6% Si. Jednocześnie uznano za niecelowe stosowanie powłok aluminiowych dla podwyższenia żaroodporności stopu N80H20. Powłoki na tym stopie ulegały łuszczeniu i odwarstwianiu się od podłoża, a szczególnie uzyskane w kąpielii Al-Si (6% Si) (rys. 18).

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań uznano za niecelowe stosowanie aluminiowania jako sposobu podwyższania żaroodporności stopu N80H20. Stwierdzono natomiast, że technologia ta stanowi dobre zabezpieczenie przed wysokotemperaturowym utlenianiem w warunkach 24 cykli nagrzewu do temp. $1000^{\circ}C$ wyrobów ze stali H25N20S2. Wystarczające, żaroodporne zabezpieczenie tej stali stanowią powłoki otrzymane w kąpielii stopu Al-Si (4+6% Si) o temperaturze $700-730^{\circ}C$ w czasie zanurzania 2-3 minut.

Wykazano również wyraźny wzrost żaroodporności aluminiowanych próbek z żelaza "Armco". Jednakże niezbędne zabezpieczenie żelaza "Armco" przed wysokotemperaturowym utlenianiem, badanym zgodnie z założonymi warunkami, stanowią dopiero powłoki naniesione w czasie zanurzania powyżej 5 minut. Wynika to z szybkiego spadku koncentracji Al w warstwie wierzchniej ferrytycznego podłoża.

LITERATURA

- [1] Szulga N.G. i inni: Issliedowanije struktury i fiziczeskich swojstw alitirowannej stali. Fizika-Chimiczeskaja Miecchanika Materijałow, 1972, nr 8/4, s. 18-21.
- [2] Lubkiewicz L., Kwiecień J., Pasiak W.: Dyfuzyjne warstwy żaroodporne na stali i żeliwie. Prace IMP, Materiały z XIV Seminarium IMP, zeszyty nr 1, Warszawa, 1975, s. 39-48.
- [3] Szur N.F., Patrina N.A., Steniszczjewa L.S.: Osobjennosti promienienija alitirowanija dla wysokotemperaturnych dietaliej piecziej. Zaszczitnyje Pokrytija na Mietażkach, Wypusk 9 Izd. "Naukowa Dumka", Kijew 1975, s. 79-82.
- [4] Andrzejewa A.G. i inni: Wysokotemperaturnyje pokrytija. Izd. Nauka, Moskwa 1967.
- [5] Moroz W.I., Bujanowa L.P., Szur N.F.: K woprosu ob optimalnom sodierżanii aliminija w alitirowanom skoje. Zaszczitnyje Pokrytija na Mietażkach, Wypusk 8. Izd. "Naukowa Dumka", Kijew, 1974, s. 66-69.
- [6] Ljachowicz L.S.: Mnogokomponentnyje diffuzionnyje pokrytija, Izd. "Nauka i Technika", Minsk 1974.
- [7] Vesely V.: Revetments metalliques resistant a l'oxydation. Corrosion - Traitements, Protection, Finition, 1967, vol. 15, No 4, s. 203-206.
- [8] Gierek A., Bajka L.: Aluminowanie żeliwa ciągliwego z jednoczesną obróbką cieplną. Przegląd Mechaniczny, 1975, rok 24, nr 7, s.221-224.
- [9] Bajka L.: Structure and Mechanism of forming of Aluminium diffusion coatings on a hypoeutectic white cast iron. Scandinavian Journal of Metallurgy, 1975, Vol. 4 No 5, s. 225-230.
- [10] Sigarjew A.S. i inni: Fazowyj i chimiczeskij sostaw alitirowanogo szoja żaroprocnych spławow. Mietażkowiedienije i Tiermiczeskaja Obrobotka Mietażkow, 1971, No 8, s. 36-39.
- [11] Bogaczjew I.N., Kuprijanow I.L., Litwinow W.S.: Issliedowanije żarostojkich pokrytij na spławie ŻS6K. Fiziko-Chimiczeskaja Miecchanika Materijałow, 1972, nr 8/1, s. 106-108.
- [12] Kozłowa M.W., i inni: Fazowyj analiz zaszczitnego alitirowanogo szoja na kilieliewych spławach. Zaszczita Mietażkow. 1971, tom 7, No 3, s. 284-289.
- [13] Bajka L.: Technologia nieciągłego aluminowania ogniowo-zanurzeniowego oraz możliwości jej zastosowania. Problemy Postępu Technicznego, 1974, nr 5/53, s. 30-37.
- [14] Shogo Tobe, Takuro Saga i Ohmi Miyagawa: On the alloy layer of hot-dip aluminium coated Stainless Steel Journal of the Japan Institute of Metals, No 36/6, s. 556,563.
- [15] Rjabow W.R., Dzykarowicz I.Ja., Irmatowa W.I.: Chimiczeskaja niejednorodnost pokrytij połączennych żidkostnom alitirowanijem. Zaszczitnyje Pokrytija na Mietażkach, Wypusk 5, "Naukowa Dumka" Kijew, 1971, s. 89-94.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЖАРСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ X 25 H 20 C 2, СПЛАВА
H 80 X 20 И ЖЕЛЕЗА АРМКО ДИФУЗИОННЫМ АЛИТИРОВАННЫМ ПОКРЫТИЕМ

Р е з ю м е

В статье указано оптимализацию параметров алитирования стали X25H20C2, сплава N80H20 и железа Армко. Выявлено, что жаростойкость элементов зависит от химического состава, температуры и времени выдержки элементов в жидком алюминии.

После опытов оказалось, что жаростойкий материал - это сталь X25H20C2 алитированный сплав Ал - Си/4-6%.

THE INVESTIGATIONS OF THE INCREASE OF HIGH-TEMPERATURE RESISTANCE
OF H25N20S2 STEEL, N80H20 ALLOY AND ARMCO IRON BY FORMATION OF DIFFUSION
ALUMINIUM COATING

S u m m a r y

The paper describes investigations and the results of the increase of high-temperature resistance of enamel furnaces elements made of H25N20S2 steel, N80H20 alloy armco iron, by formations on their surface hot-dip aluminium coatings.

Elements of enamel furnaces are cyclicly heated during annealing process in oxidation environment up to 1000°C and then cooled to ambient temperature. The paper discusses the optimalization of hot-dip aluminizing process parameters, mainly: bath chemical composition, bath temperature and immersion time in accordance with demanded high temperature resistance of coated elements.