ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979

Seria: HUTNICTWO z. 19 Nr kol. 607

Adam GIEREK, Lech BAJKA,
Arkadiusz PUCKA, Henryk LARYSZ,
Danuta ADAMCZYK, Piotr LIBERSKI

Instytut Inżynierii Materiałowej
Politechnika Śląska

OSIAGNIĘCIA INSTYTUTU INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ W ZAKRESIE WYTWARZANIA ORAZ ZASTOSOWAŃ METALOWYCH DYFUZYJNYCH POWŁOK ZANURZENIOWYCH

Streszczenie. Referat omawia osiągnięcia Instytutu Inżynierii Materiałowej w dziedzinie badań oraz organizacji i realizacji programu rozwoju metalizacji zanurzeniowej.

Referat obejmuje: ogólną charakterystykę obecnego stanu produkcji oraz prognoz rozwoju metalizacji zanurzeniowej w kraju i na świecie; charakterystykę nowych technologii metalizacji opracowanych przez Instytut Inżynierii Materiałowej, a głównie: aluminiowania, miedziowania i ołowiowania; program badań korozyjnych powłok zanurzeniowych typu: Al, Zn, Cu i Pb; wyniki wstępnych badań korozyjnych wymienionych powłok w różnorodnych środowiskach i wreszcie przykłady przemysłowych zastosowań technologii opracowanych przez IIM, a związanych z metalizacją zanurzeniową.

Referat przedstawia również mechanizm korozji podstawowych powłok zanurzeniowych, tzn.: Al, Zn, Cu i Pb w środowisku jonów Cl^- i SO_4^{-2}.

1. WPROWADZENIE

Za jeden z najpoważniejszych problemów, który nie został jeszcze w pełni rozwiązany przez stosowane obecnie środki techniczne, należy uznać zabezpieczenie przed zniszczeniem oraz stratami powodowanymi korozją. Korozja ze wszystkimi swoimi odmianami stanowi jedną z podstawowych przeszkód zwiększenia żywotności oraz niezawodności użytkowania większości wytworów dzisiejszej cywilizacji technicznej.

Korozja wskutek swojego destruktywnego wpływu jest również jedną z podstawowych przyczyn strat materiałowych, zniszczenia maszyn, urządzeń i konstrukcji, przerw produkcyjnych, zakłóceń w dostawach energii, łączności w transporcie oraz powoduje wzrost nakładów na zabezpieczenie przed jej wpływem jak i usuwanie jej skutków. Stwierdzono wzrost wielkości strat korozyjnych wraz z rozwojem światowego przemysłu, co spowodowane jest gwałtownie wzrastającym zanieczyszczeniem środowiska, a w szczególności wód i atmosfery.

Już w latach pięćdziesiątych naszego stulecia straty korozyjne świata określono na około 20-30 mld dolarów rocznie, a gospodarka naszego kraju w latach siedemdziesiątych traci rocznie z powodu korozji ok. 50-60 mld złotych.

2. PROGRAM BADAŃ I KIERUNKI ROZWOJU METALIZACJI ZANURZENIOWEJ W INSTYTUCIE INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

Metody formowania dyfuzyjnych powłok metalicznych, objęte wspólnym mianem metalizacji zanurzeniowej, stanowią w chwili obecnej, a również określone są w prognozach rozwoju jako jeden z podstawowych i najszerzej stosowanych sposobów trwałego zabezpieczenia wyrobów metalowych, a szczególnie ze zwykłych stali i żeliw przed działaniem korozji, zarówno w temperaturze pokojowej jak i podwyższonej. Przyczyną obecnej, wysokiej pozycji procesów metalizacji zanurzeniowej jak i przewidywanego ich dalszego rozwoju jest szereg specyficznych cech zarówno technologii tworzenia jak i samych powłok. Należy do nich zaliczyć: dużą wydajność procesów nanoszenia powłok zanurzeniowych (krótki czas formowania), możliwość pokrywania wyrobów o dużym zróżnicowaniu gabarytów i kształtu (łącznie z wyrobami jednostkowymi o skomplikowanej geometrii); wysoką odporność korozyjną utworzonych powłok; dużą trwałość mechaniczną powłok jak i ich trwałe, dyfuzyjne związanie z podłożem; możliwość równoczesnej obróbki cieplnej pokrywanego podłoża wraz z formowaniem powłok; wreszcie możliwość dodatkowego uszlachetniania (np. trwałego barwienia) utworzonych powłok.

Ocenia się, że w latach siedemdziesiątych przyrost całkowitej produkcji wyrobów metalizowanych na świecie wynosił około 7% w skali rocznej. Produkcja ta w roku 1970 wynosiła około 25 mln Mg, a w roku 1976 wzrosła już do około 32 mln Mg, przy czym około 90% udziału przypadło na wyroby ocynkowane; około 5-6% na wyroby aluminiowane (głównie metodą ciągłą), a pozostały udział obejmuje wyroby ołowiowane oraz ocynowane.

Głównymi producentami w tej mierze są: USA, Japonia, RFN, Francja, Wielka Brytania, Belgia - Luksemburg, ZSRR, Włochy i Kanada, przy czym ponad 50% udziału wyrobów metalizowanych przypada na USA i Japonię.

Niewielki udział w światowej produkcji wyrobów metalizowanych przypada na kraje RWPG, w tym również na Polskę. Przykładowo w roku 1970 całkowita produkcja wyrobów metalizowanych w naszym kraju wynosiła około 0,45 mln Mg, a w roku 1976 około 0,74 mln Mg, przy czym na ocynkowanie przypadło w obu okresach ponad 95%. Zatem udział naszej produkcji wyrobów metalizowanych w stosunku do produkcji światowej stanowił w okresie do roku 1976 niewiele ponad 2%. Stoi to w niekorzystnej dysproporcji z udziałem naszego kraju w światowej produkcji stali, co, jak można sądzić, stanowi jedną z przyczyn jej przyspieszonego zużycia [1-4].

Tablica 1

Program badań korozyjnych metalowych powłok zanurzeniowych typu: Al, Zn, Cu i Pb na stopach Fe-C realizowanych przez IIM w ramach Problemu Międzyresortowego I-29 "Metalizacja zanurzeniowa" w latach 1977-1983

Stan skupienia środowiska	Środowiska korozyjne	Rodzaj powłoki																																	
		Al							Zn							Cu								Pb											
		1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Gazowy	Atmosfera miejska	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Atmosfera miejsko-przemysłowa	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Atmosfera przemysłowa	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x
	Atmosfera przemysłowa o podwyższonej agresywności (przemysł chemiczny)	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x
	Atmosfera wiejska	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Atmosfera morska	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Atmosfera kopalń	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
	Atmosfera pomieszczeń hodowlanych	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-
	Atmosfera (symulowana) różnych stref klimatycznych	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x
Ciekły	Mgła solna	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Woda morska (stojąca oraz w przepływach)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-
	Woda słodka (stojąca oraz w przepływach)	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	-	-	-	-
	Wody kopalniane	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
	Środowiska hodowlane	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-
	Środowiska magazynowania oraz przetwórstwa płodów rolnych	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
Stały	Środowiska betonu (beton tradycyjny, komórkowy oraz siatkobeton)	-	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

W przedstawionej sytuacji, a szczególnie ze względu na wzrastającą agresywność korozyjną atmosfery jak i wód, w ramach rozwoju metalizacji zanurzeniowej Instytut Inżynierii Materiałowej w Katowicach opracował na początku lat siedemdziesiątych i rozpoczął realizację kompleksowych badań nad rozwojem tej dziedziny ochrony przed działaniem korozji.

Podstawą organizacyjno-prawną realizacji tego kompleksowego programu stał się, przyznany w 1977 roku do koordynacji w IIM na lata 1977-1983, Problem Międzyresortowy I-29 "Metalizacja zanurzeniowa" jak i akty prawne wydane przez zainteresowane resorty (MNSzWiT, MPMCiR, MH, MPM) [5].

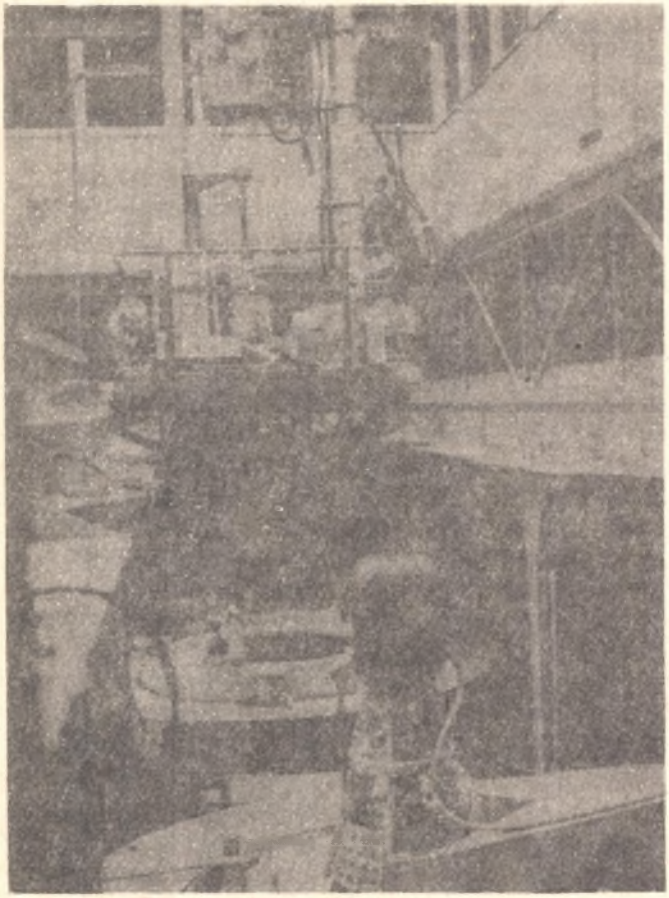
Podstawowym zadaniem problemu było opracowanie na drodze metalizacji zanurzeniowej zabezpieczenia przed działaniem korozji w najczęściej spotykanych środowiskach o podwyższonej agresywności. Opierając się na światowych doświadczeniach w obecnym wykorzystaniu oraz prognozach rozwoju metalowych powłok zanurzeniowych główną uwagę skoncentrowano na badaniu powłok aluminiowych, wypierających, stanowiące obecnie około 90% udziału, powłoki cynkowe. Marginalnie, dla wybranych środowisk wprowadzono do programu prace nad powłokami ołowiowymi oraz ze stopów Cu. Kompleksowy program badań korozyjnych przedstawia tabl. 1. Równocześnie rozpoczęto prace nad nowymi, nie ujętymi w tabl. 1 rodzajami powłok, których własności użytkowe będą badane w wyniku pozytywnego zakończenia prac technologicznych.

W ramach realizacji problemu I-29 ujęto kompleks poczynań pozwalających osiągnąć zamierzony cel zarówno w zakresie badań jak i rozwoju produkcji.

Program realizacji podzielono na następujące grupy tematyczne:

- prace studialne nad oceną obecnego stanu metalizacji zanurzeniowej oraz prognozy określające dalszy rozwój tej dziedziny, ze szczególnym uwzględnieniem jakościowego i ilościowego zapotrzebowania na wyroby metalizowane do roku 2000;
- prace badawcze nad określeniem własności użytkowych, a szczególnie odporności antykorozyjnej badanych powłok;
- prace badawcze nad ulepszeniem istniejących oraz opracowaniem nowych technologii metalizacji, procesów związanych oraz tworzyw dla wytwarzania urządzeń dla metalizacji;
- prace projektowe oraz nadzór nad wytwarzaniem i budową urządzeń oraz oprzyrządowania związanego, liniami technologicznymi a także wydziałami metalizacji zanurzeniowej;
- prace rozwojowo-wdrożeniowe nad przygotowaniem i rozpoczęciem w skali przemysłowej pilotowych partii wybranych grup wyrobów;
- analizy techniczno-ekonomiczne opracowanych i prowadzonych procesów.

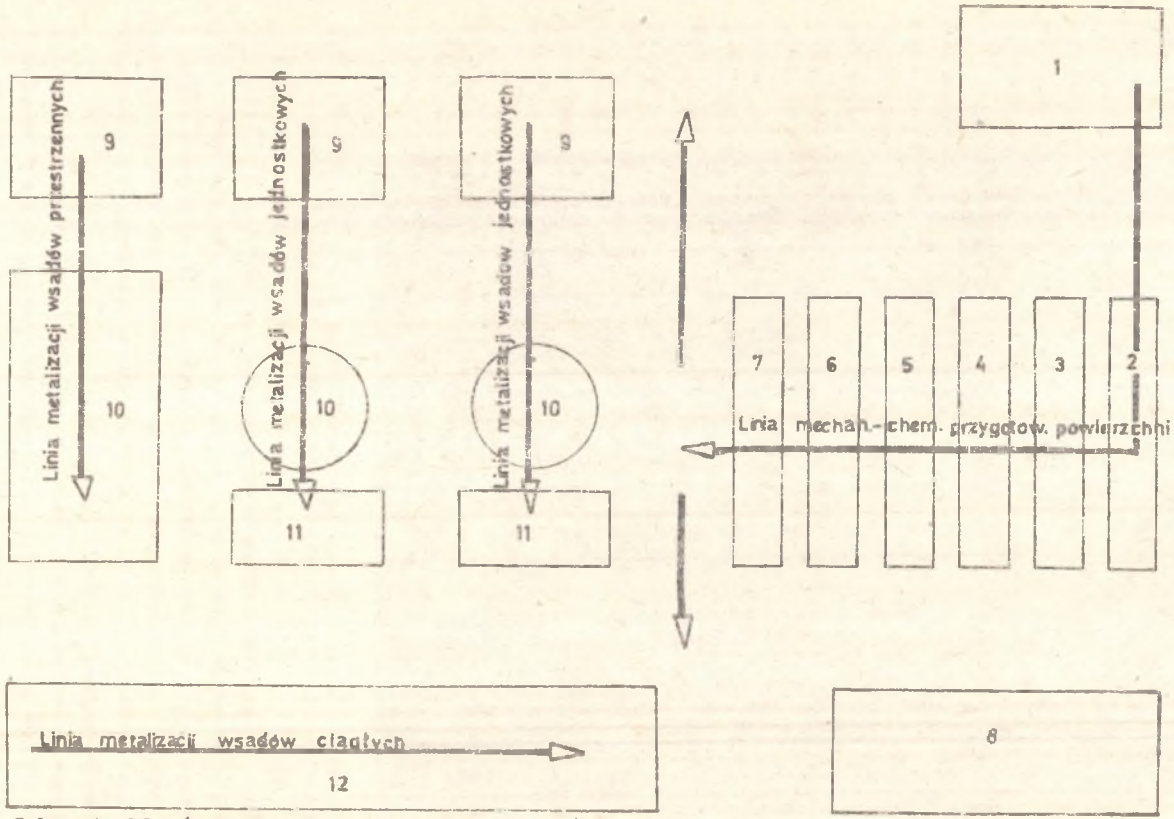
Szczególną uwagę w przygotowaniu programu zwrócono na rozwój bazy badawczo-produkcyjnej, która pozwoliłaby na przeniesienie wyników doświadczeń ze skali laboratoryjnej na skalę produkcji pilotowej, a następnie wytwarzanie w skali masowej.



Rys. 1. Fragment pilotowej linii do aluminiowania jednostkowego, zainstalowanej w Instytucie Inżynierii Materiałowej w Katowicach

Rozwój bazy prowadzono według następujących etapów:

- uruchomienie urządzeń laboratoryjnych do badań podstawowych nad technologiami metalizacji, a głównie nad aluminiowaniem zanurzeniowym [6],
- budowa i uruchomienie w 1974 roku na terenie IIM w Katowicach pierwszej, w pełni zmechanizowanej, linii do aluminiowania zanurzeniowego wyrobów jednostkowych, której fragment przedstawia rys. 1 [7-9],
- budowa będącego obecnie w rozruchu Zakładu Doświadczalnego Metalizacji, który pozwoli na metalizowanie w skali przemysłowej, a głównie aluminiowanie pilotowych serii wytypowanych wyrobów. Zakład ten (patrz rys. 2) wyposażony jest w: kompletną linię mechaniczno-chemicznego przygotowania powierzchni, dwie nitki do metalizowania jednostkowego wyrobów drobnych o wymiarach roboczych tygli ϕ 900 x 1500 mm, nitkę do metalizowa-



Rys. 2. Schemat układów technologicznych Zakładu Doświadczalnego Metalizacji Instytutu Inżynierii Materiałowej

1 - stanowisko mechanicznego przygotowania powierzchni; 2-7 - zespół wanien do chemicznego przygotowania powierzchni wyrobów przed metalizacją; 8 - zespół zbiorników, dozowników i mieszalników dla przygotowania roztworów dla chemicznej obróbki powierzchni; 9 - komory suszenia i wstępnego nagrzewu wsadu przed zanurzeniem do kąpieli; 10 - piece do metalizacji zanurzeniowej wyrobów jednostkowych; 11 - chłodnie wodne; 12 - agregat do metalizacji wsadów ciągłych (drut, taśma)

nia wsadów przestrzennych o wymiarach pieca 4000 x 2000 x 1200 mm oraz nitkę do ciągłego metalizowania drutów i taśmy o szerokości do 250 mm.

3. CHARAKTERYSTYKA PROCESOW TWORZENIA ORAZ BUDOWA ZANURZENIOWYCH POWŁOK TYPU: Al, Cu I Pb NA PODŁOŻU STOPÓW Fe-C

Obecnie w skali przemysłowej stosowane są następujące technologie metalizacji zanurzeniowej:

- cynkowanie ciągłe oraz jednostkowe,
- aluminiowanie ciągłe,
- ołowiowanie ciągłe oraz jednostkowe,
- cynowanie ciągłe i jednostkowe.

Z uwagi na pełne opanowanie technologii cynkowania w skali wielkoprzemysłowej jak i znajomość procesów z nią związanych, główny ciężar badań położono na aluminiowanie zanurzeniowe, szczególnie wyrobów jednostkowych. Dodatkowo za słusznością tej decyżji przemawiają znacznie lepsze własności użytkowe, głównie odporność na działanie korozji, aluminiowych powłok zanurzeniowych, a także znacznie szerszy zakres ich potencjalnego zastosowania.

Przeprowadzone badania technologiczne w powiązaniu z badaniami strukturalnymi pozwoliły ściśle określić podstawowe parametry procesu przygotowania powierzchni i aluminiowania wyrobów jednostkowych zarówno ze stopów żelaza nie zawierających jak i zawierających dodatki stopowe oraz z miedzi i jej stopów. Znajomość tych parametrów umożliwiła formowanie powłok Al o z góry określonych własnościach, w tym również ściśle określonej ich strukturze, grubości oraz składzie chemicznym [8-10, 15-20]. Opracowano również proces aluminiowania zanurzeniowego wyrobów jednostkowych o skomplikowanym kształcie, jak np.: gwinty, na których utworzone powłoki są ciągłe, posiadają równomierne grubości, co osiągnięto poprzez kontrolowane usuwanie z powierzchni pokrywanych wyrobów nadmiaru aluminium w stanie ciekłym [9, 10, 21].

Formowanie powłok Al na powierzchni wyrobów ze stopów Fe-C połączono z równoczesną obróbką cieplną materiału pokrywanego podłoża, dzięki czemu wykorzystano ciepło pochodzące z kąpieli ciekłego aluminium dla nadania aluminiowanym wyrobom, w wyniku zmian strukturalnych, wyższych własności mechanicznych. W większości przypadków uzyskano rozdrobnienie i ujednorodnienie struktury, a za najbardziej korzystne w przypadku stali niskowęglowych uznano prowadzenie w trakcie aluminiowania procesu normalizacji podłoża [9, 16, 18, 22, 23].

Wykorzystując doświadczenia nabyte przy opracowaniu technologii aluminiowania wyrobów jednostkowych oraz opierając się na obowiązujących prawach formowania dyfuzyjnych powłok metalicznych metodą zanurzeniową opra-

cowano dwie nowe technologie: miedziowania zanurzeniowego w stopach Cu oraz ołowiowania z międzywarstwą faz Fe-Al. W obu przypadkach wykorzystano regułę twierdzącą, że za podstawowy warunek formowania zanurzeniowych powłok metalicznych należy uznać tworzenie pomiędzy składnikami podłoża, np. na bazie Fe oraz składnikami kąpieli typu Me, związków międzymetalicznych. Związki te krystalizując na powierzchni pokrywanego wyrobu (Fe) w trakcie jego zanurzania w kąpieli (Me) w postaci krystalitów faz typu $Fe_x Me_y$, stanowią połączenie podłoża z będącą w stanie ciekłym warstewką metalu nanoszonego [6, 25, 24].

W przypadku aluminiowania zanurzeniowego stopów typu Fe-C proces formowania powłoki jest oparty na tworzeniu pomiędzy ciekłym Al a podłożem Fe warstw krystalitów $FeAl_3$, pomiędzy którymi zatrzymywany jest w trakcie wynurzania ciekły roztwór Fe w Al, krzepnący po wynurzeniu w postaci eutektyki Al + $FeAl_3$ [6-10, 24, 25]. Schemat przekroju poprzecznego powłoki Al na podłożu stopów Fe-C oraz przykład jej struktury na podłożu żeliwa białego podeutektycznego przedstawiono na rys. 3a.

Bardziej złożony jest proces formowania na podłożu Fe-C powłok miedziowych. Ponieważ Cu nie tworzy z Fe faz międzymetalicznych a jedynie w bardzo ograniczonym zakresie rozpuszczalności roztwór w α Fe: 1,4% Cu w temp. 850°C; 0,15% Cu w temp. 450°C i dalej obniżającą się zawartość Cu wraz ze spadkiem temperatury. Formowanie powłok w kąpieli czystej Cu jest więc bardzo utrudnione, a przy tym niekorzystne ze względu na wysoką temperaturę topnienia tego metalu 1083°C [26, 27].

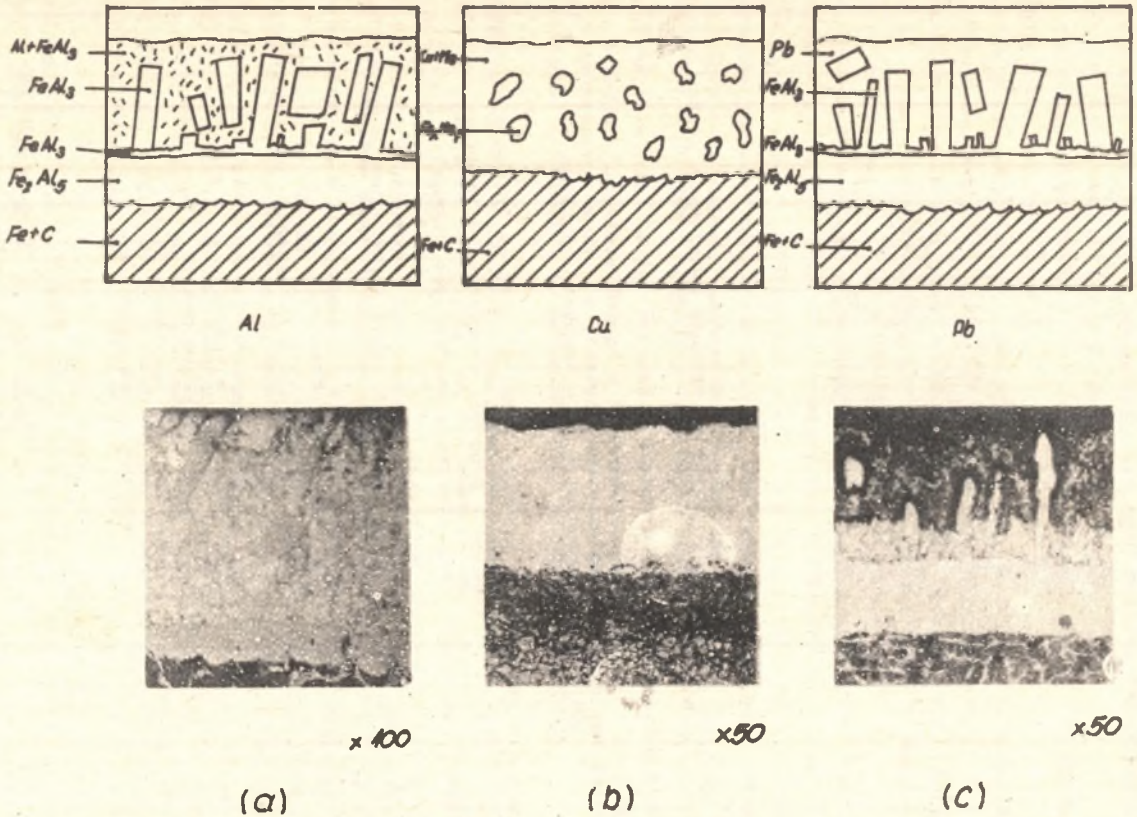
Celem utworzenia krystalitów związków międzymetalicznych, które powiązałyby podłoże Fe z warstwą Cu, do kąpieli wprowadzono dodatki określone jako Me. Są to: Sn, Si oraz Al, a w dalszym etapie badań również Ni oraz Mn [28]. W efekcie pierwiastki dodane do kąpieli Cu utworzyły z podłożem Fe krystality związków międzymetalicznych typu $Fe_x Me_y$, zatrzymując pomiędzy sobą w trakcie wynurzania wyrobów z kąpieli, ciekły stop Cu + Me. Za optymalne uznano stopy zawierające Cu + 25% Sn oraz Cu + 20% Sn + 5% Ni [29].

Schemat przekroju poprzecznego powłoki Cu na podłożu Fe-C oraz przykład struktury powłoki uzyskanej w kąpieli Cu + 20% Sn + 5% Ni przedstawia rys. 3b.

Związków międzymetalicznych z podłożem Fe nie tworzy również Pb.

Dla połączenia warstwy Pb z podłożem stopów Fe-C wykorzystano międzywarstwę krystalitów słupkowych fazy $FeAl_3$, które powstają w trakcie procesu aluminiowania. Po wyparciu z obszarów pomiędzy krystalitami $FeAl_3$ ciekłego roztworu Fe w Al przez ciekły Pb, co uzyskano przez przesunięcie wyrobów z kąpieli Al bezpośrednio do kąpieli Pb, uzyskano warstwę ołowiu na podłożu faz typu Fe-Al [30-31].

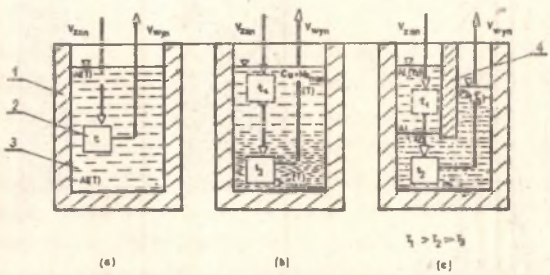
Utworzona powłoka, co przedstawia rys. 3c, składa się z warstwy zewnętrznej, będącej mieszaniną krystalitów $FeAl_3$ oraz wypełniającego obsza-



Rys. 3. Schematy oraz przykłady budowy dyfuzyjnych powłok typu: Al (a), Cu (b) i Pb (c), utworzonych metodą zanurzeniową na podłożu stopów Fe-C

ru pomiędzy nimi ołowiu; warstwy przejściowej, która podobnie jak w przypadku powłok Al zbudowana jest z fazy Fe_2Al_5.

Schematyczny przebieg każdego z trzech omówionych procesów tworzenia powłok zanurzeniowych, tzn. typu: Al, Cu i Pb w odniesieniu do wyrobów jednostkowych przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Schemat przebiegów procesów formowania metalowych powłok zanurzeniowych typu Al, Cu oraz Pb

a - proces aluminiowania; b - proces miedziowania; c - proces ołowiowania; 1 - tygiel; 2 - element metalizowany; 3 - kąpiel ciekłego metalu; 4 - przegroda stref kąpieli; T - temperatura kąpieli; t - czas zanurzenia; V_{zan} - szybkość zanurzania; V_{wyn} - szybkość wynurzania

Jak widać z załączonego schematu (rys. 4) oraz co wynika z poprzedniego opisu, w przypadku każdego z procesów tworzenia metalowych powłok zanurzeniowych decydującą rolę odgrywają następujące parametry [7,9,29,30]:

- skład chemiczny kąpieli metalowej,
- temperatura kąpieli ciekłego metalu, a także temperatura poszczególnych jej stref,
- czasy technologiczne, a głównie czas zanurzenia,
- szybkości technologiczne, tzn. zanurzania i wynurzania oraz przesuwania pomiędzy poszczególnymi strefami.

Proces aluminiowania prowadzony jest w kąpieli Al o stałym składzie chemicznym na całej wysokości słupa ciekłego metalu. Zachowana jest również stała temperatura T niezależnie od poziomu kąpieli. Wyroby zanurzane są na określoną głębokość i przetrzymywane przez okres t, a następnie wynurzane (patrz rys. 4a).

Proces formowania powłok ze stopów Cu prowadzony jest w kąpieli stopów Cu + Me, jak np.: Cu-Sn, Cu-Al czy też Cu-Si. Dodatkowe składniki stopu Cu, określone jako Me, tworzą z Fe związki międzymetaliczne typu $Fe_x Me_y$ w postaci krystalitów na powierzchni wyrobu miedziowanego, co zapewnia połączenie podłoża z warstwą Cu. Pierwiastki te, jako posiadające mniejszą gęstość, koncentrują się w strefie powierzchniowej kąpieli Cu + Me, natomiast ich zawartość maleje w kierunku dna tygla.

Zatem, dla przyspieszenia procesu tworzenia krystalitów faz $Fe_x Me_y$, celowe jest przetrzymanie wyrobu na czas t_1, w strefie o podwyższonej zawartości (Me_{max}), tzn. bezpośrednio pod powierzchnią kąpieli, a następnie celem uzyskania powłoki o możliwie wysokiej zawartości Cu przesunięcie do strefy dennej (Me_{min}) i po przetrzymaniu przez okres t_2 wynurzenie. Zakłada się stałą temperaturę - T (patrz rys. 4b).

Najbardziej skomplikowany technologicznie jest proces ołowiowania z międzywarstwą faz typu Fe-Al.
Prowadzony on jest w kąpieli dwustrefowej - Al oraz Pb, co widać na rys. 4c. Proces ten zawiera w sobie, stanowiący jego wstępny etap, proces aluminiowania. Wyroby zanurzane są na okres t_1 do górnej strefy, którą stanowi Al. Temperatura tej strefy obniża się nieznacznie, w miarę oddalania się od powierzchni, od wartości T_1 do T_2.

Po wykrystalizowaniu na podłożu Fe-C warstwy krystalitów $FeAl_3$ oraz międzywarstwy Fe_2Al_5 element jest zagłębiany do strefy Pb i przetrzymywany tam przez okres t_2 w temperaturze T_2. Po całkowitym wyparciu przez Pb z obszarów pomiędzy krystalitami $FeAl_3$ ciekłego Al następuje wolne wynurzanie strefą Pb, której temperatura obniża się od T_2 do T_3. Zwiększa to lepkość Pb, zapobiegając ewentualnemu wypłynięciu ołowiu z obszarów pomiędzy $FeAl_3$.

4. ODPORNOŚĆ ANTYKOROZYJNA ZANURZENIOWYCH POWŁOK METALICZNYCH

Spośród szeregu własności użytkowych metalowych powłok zanurzeniowych, o których była mowa na wstępie, za najistotniejszą należy uznać odporność na działanie korozji.

Dotyczy to szczególnie zanurzeniowych powłok aluminiowych. Mając na celu jednoznaczne określenie odporności antykorozyjnej opracowanych powłok metalowych, w Instytucie Inżynierii Materiałowej podjęto ich kompleksowe badania korozyjne zgodnie z programem przedstawionym w tabl.1. Dla pełnego obrazu zagadnienia do badań włączono, stanowiące obecnie ponad 90% produkcji wyrobów metalizowanych, powłoki cynkowe.

Dla określenia celowości zabezpieczenia powierzchni stali, jako grupę porównawczą przyjęto próbki nie pokryte powłokami. Próbki płaskie wykonane zostały ze zwykłej stali konstrukcyjnej o zawartości około 0,3% C. Następnie ich powierzchnie pokryto w IIM, zgodnie z opracowanymi technologiami, powłokami: Al, Zn, Cu i Pb. Zapewniono utworzenie w każdej z grup powłok na wszystkich badanych próbkach pokryć o bardzo zbliżonej budowie, a tym samym jednakowych własnościach.

Przedstawiony, szeroki program kompleksowego badania odporności na działanie korozji prowadzony jest w ramach problemu I-29, na zasadzie badań własnych IIM oraz szerokiej kooperacji z wieloma ośrodkami w kraju, specjalizującymi się w zagadnieniach korozji. Do ośrodków tych IIM przeka-

Tablica 2

Wyniki wstępnego etapu badań korozyjnych powłok Al, Zn, Cu i Pb w różnorodnych środowiskach korozyjnych [32-35]

Lp.	Rodzaj środowiska korozyjnego		Warunki badań: Czas [doby]	Warunki badań: Temperatura [K]	Rodzaj powłoki	Średnia szybkość korozji w badanym okresie g/m^2	Względny ubytek objętości powłok Zn, Cu i Pb oraz Fe w odniesieniu do ubytku Al
1	2		3	4	5	6	7
1	Środowisko morskie	Mgła solna	120	293	Al Zn Fe	115,26 296,04 1115,32	1,0 0,97 3,32
2		Stojąca woda morska	190	281-294	Al Zn Cu Pb Fe	70,07 186,21 825,09 zniszczenie 540,17	1,00 1,00 3,56 zniszczenie 2,65
3		Ruchoma woda morska	270	281-294	Al Zn Cu Pb Fe	64,02 728,03 572,49 zniszczenie 1658,8	1,00 4,29 2,70 zniszczenie 8,90
4	Środowisko kopalniane	Komora aerozolowa	4	293	Al Zn Cu Pb Fe	0,5-1,5 1,0-3,1 1,5-5,0 zniszczenie 3,2-7,0	1,00 0,75-0,78 0,91-1,01 zniszczenie 2,20-1,60
5		Wody kopalniane z ciągłym napowietrzeniem	4	293	Al Zn Cu Pb Fe	3,0-6,1 11,0-55,0 59,0-97,0 zniszczenie 44,0-79,0	1,00 1,38-3,40 5,94-4,80 zniszczenie 5,04-4,45
6		Wody kopalniane w przepływie	4	293	Al Zn	6,8-73,0 77,0-430,0	1,00 4,27-2,22
7	Słodka woda wodociągowa		7	293	Al Zn Cu Pb	3,0 4,1 8,2 4,7	1,00 0,51 0,82 0,37
8			7	313	Al Zn Cu Pb	2,5 8,1 9,6 21,2	1,00 1,22 1,16 2,01
9			7	333	Al Zn Cu Pb	1,5 13,2 9,3 11,2	1,00 3,32 1,87 1,77
10			7	353	Al Zn Cu Pb	2,5 10,0 14,7 4,2	1,00 1,51 1,78 0,40

cd. tablicy 2

1		2	3	4	5	6	7
11	Środowisko hodowlane	Gnojowica przy zmiennym zanurzeniu	244	290	Al Zn	5,4 44,5	1,0 3,11
12		Atmosfera obiektów hodowlanych	249	290	Al Zn	2,7 10,2	1,0 1,42
13		Kiszonka naturalna	545	290	Al Zn	5,8 175,2	1,0 11,40
14		Atmosfera kiszonek	244	303	Al Zn	9,6 30,4	1,0 1,19
15		Kiszonka sztucznie spreparowana	61	290	Al Zn	31,25-71,4 398-1237	1,0 4,81-6,54

Uwaga: Fe oznacza grupę kontrolną bez pokrycia.

zał omówione próbki, prowadził i nadal prowadzi nadzór nad przebiegiem badań korozyjnych, a następnie poddaje analizie uzyskane wyniki i opracowuje kompleksowe wnioski.

Realizacja pełnego programu przewidziana została na lata 1977-1983, natomiast każdego roku kończony jest częściowy etap badawczy.

Podsumowanie wyników badań korozyjnych powłok: Al, Zn, Cu i Pb oraz grupy porównawczej, którą stanowią próbki nie pokryte, przedstawiono w tabl. 2 [32-35].

Porównanie zostało dokonane w bezwzględnych przyrostach masy $[g/m^2]$, których wartość dla poszczególnych grup środowisk korozyjnych podano w zależności od okresu ekspozycji oraz z wykorzystaniem względnego ubytku objętości powłok Zn, Cu i Pb oraz grupy kontrolnej Fe w odniesieniu do ubytku Al.

Jak widać z cytowanej tabeli, poza nielicznymi przypadkami w większości badanych środowisk najwyższą odporność na działanie korozji wykazały próbki z węglowej stali konstrukcyjnej, pokryte zanurzeniowo-dyfuzyjnymi powłokami Al. Dla określenia rzeczywistej szybkości korozji poszczególnych rodzajów powłok oraz kontrolnej grupy nie pokrytych próbek stalowych porównano ich ubytki objętościowe w każdym z badanych środowisk, odnosząc je do ubytków próbek aluminiowanych.

Względne ubytki objętości określono z porównania gęstości aluminium oraz tworzyw pozostałych powłok, przyjmując następujące wartości: Al:Zn:Cu:Pb:Fe = 1 : 2,65:3,31:4,21:2,91.

Analizując w dalszym ciągu wyniki badań korozyjnych (tabl. 2) można zauważyć, że największe różnice w odporności antykorozyjnej powłok Al w stosunku do powłok Zn jak również Cu i Pb występują: w ruchomej wodzie morskiej (poz. 3); w przepływających wodach kopalnianych (poz. 6); w ciepłej wodzie wodociągowej (poz. 9); w gnojowicy przy zmiennym zanurzeniu (poz. 11) oraz w środowisku kiszonki (poz. 13 i 15). Występuje więc charaktery-

stycznа cecha powłok Al, którą jest wysoka odporność na korozję w przepływowych środowiskach o dużej agresywności.

Powłoki ze stopów Cu wykazują w każdym ze środowisk znacznie niższą odporność antykorozyjną w stosunku do powłok Al. Natomiast w stosunku do powłok Zn powłoki Cu wykazują niższą odporność w wodach zasolonych, tzn. zarówno w środowisku morskim jak i kopalnianym (poz. 1-6). Wynika to z katodowego charakteru Cu w stosunku do podłoża Fe. Efektem jest tworzenie wżerów w powłoce i rozpuszczanie podłoża, którego intensywność rośnie w elektrolitach o wyższej przewodności, jak np. w wodzie zasolonej. Natomiast w wodzie słodkiej (poz. 7-10) odporność tych powłok jest na poziomie powłok Zn, gdyż pomimo katodowego charakteru szybkość rozpuszczania podłoża obniża się z uwagi na zmniejszoną przewodność środowiska.

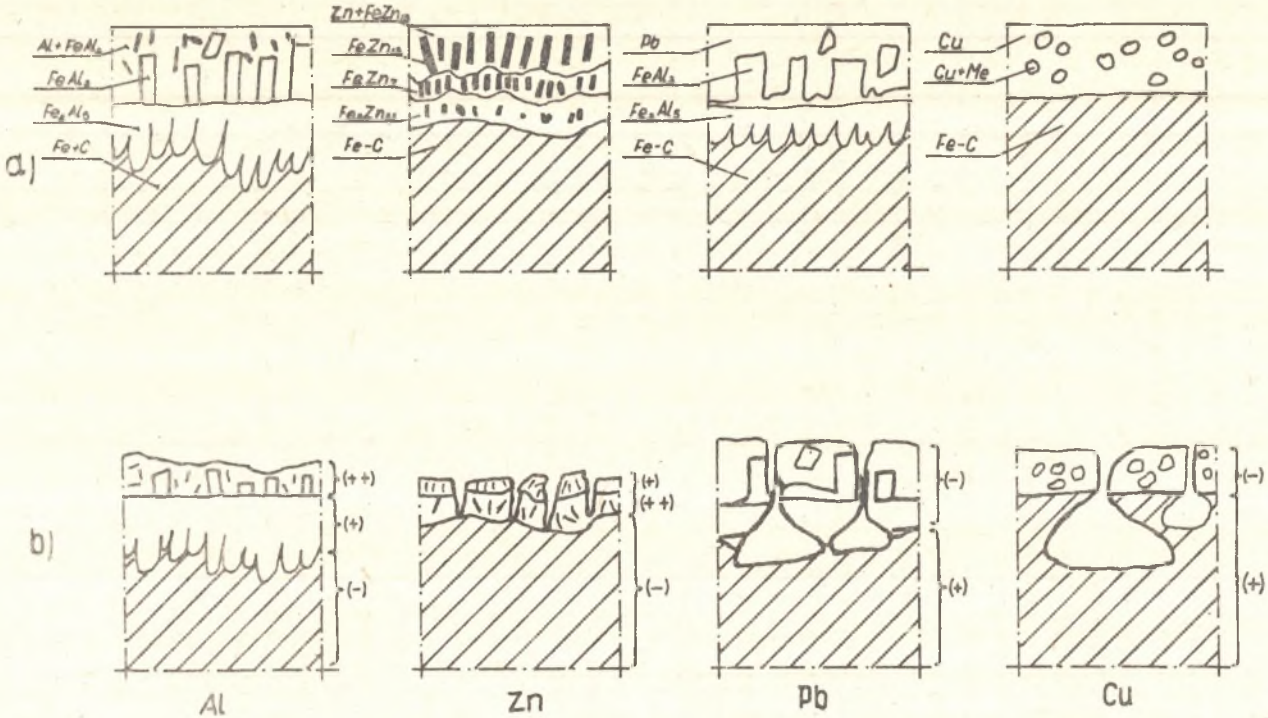
Powłoki Pb, które równie jak warstwy Cu posiadają charakter katodowy, ulegają bardzo intensywnej korozji we wszystkich środowiskach wód zasolonych (poz. 1-6). Natomiast znacznie wyższą odporność wykazują w wodzie słodkiej (poz. 7-10).

Analizując znaczne różnice w ubytkach, a więc antykorozyjnej odporności poszczególnych rodzajów metalowych powłok zanurzeniowych, a szczególnie małe ubytki Al, wyjaśnienia należy szukać w mechanizmach ich korozji.

Powłoki Al oraz Zn posiadają charakter anodowy w stosunku do podłoża stopów Fe, natomiast powłoki Cu i Pb charakter katodowy [36].

Należy zatem spodziewać się, że zarówno warstwy typu Al jak i Zn rozpuszczając się protektorują podłoże. Jednakże jak wykazały badania własne autorów oraz prace wykonane w ramach problemu I-29 w OBR "MEPROZET" w Gdańsku [32-33] oraz w Centrum Techniki Okrętowej w Gdańsku [35], powłoki te wykazują zmienną wartość potencjału elektrochemicznego w kierunku prostopadłym do pokrytej powierzchni, przy zachowaniu charakteru anodowego w odniesieniu do podłoża Fe.

Stwierdzono, że w przypadku powłok Al potencjał maleje, a w przypadku powłok Zn potencjał rośnie w miarę przesuwania się od powierzchni w kierunku podłoża. Wskazuje to więc, co potwierdziły prace [32, 33, 35], na równomierne rozpuszczanie powłok Al od powierzchni oraz wżerowe rozpuszczanie powłok Zn z uwagi na rosnącą w kierunku podłoża anodowość ich poszczególnych warstw, co przedstawiono schematycznie na rys. 5. Natomiast powłoki Cu i Pb z uwagi na swój katodowy charakter względem podłoża Fe ulegają korozji wżerowej. Powoduje to przyspieszone rozpuszczanie się podłoża na granicy z powłoką i następnie jej całkowite zniszczenie wskutek pękania i łuszczenia.



Rys. 5. Mechanizm korozji metalowych powłok zanurzeniowych typu: Al, Zn, Pb i Cu w środowisku jonów Cl^- i SO_4^{2-}

a - przekrój poprzeczny powłok przed badaniem korozji; b - przekrój poprzeczny powłok po badaniach korozyjnych [9, 24, 28, 30, 32-35]

5. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ METALOWYCH POWŁOK ZANURZENIOWYCH, OPRACOWANYCH PRZEZ INSTYTUT INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

Z uwagi na szczególną odporność na działanie korozji powłok aluminiowych znalazły one największe zastosowanie zarówno w środowiskach korozyjnych w temperaturach otoczenia jak i w temperaturach podwyższonych. Za przykłady najciekawszych rozwiązań technologicznych, opracowanych przez IIM, w których zastosowano aluminiowe powłoki zanurzeniowe, należy uznać następujące procesy:

- technologię wytwarzania aluminiowanych zanurzeniowo układów wydechowych dla "Fiata 126-p" [37]. To nowe rozwiązanie charakteryzuje się znacznie wyższą odpornością na działanie korozji zarówno w odniesieniu do układów lakierowanych jak i wytwarzanych z blachy aluminiowanej metodą ciągłą;
- zastąpienie wytwarzanych z brązu B555 elementów zaworów elementami z żeliwa szarego, pokrytymi powłoką Al [38];
- technologię wytwarzania rusztowin do palenisk mechanicznych, w których jako materiał podstawowy wprowadzono żeliwo stopowe aluminiowo-chromowe, a powierzchnię pokryto zanurzeniowo dyfuzyjną powłoką Al,zawierającą dodatki Cr [39];
- zabezpieczenie powierzchni klap przepustnic gazu wielkopiecowego o średnicy 800 mm, wykonanych z żeliwa sferoidalnego,dyfuzyjną powłoką aluminiową. Klapy pracują z pozytywnym rezultatem od dwóch lat w Hucie "Katowice" [40];
- opracowanie procesu wytwarzania aluminiowanego żeliwa ciągliwego czarnego oraz perlitycznego bez stosowania atmosfer ochronnych [41].

6. PODSUMOWANIE

Przedstawiony w referacie stan rozwoju urządzeń jak i technologii metalizacji zanurzeniowej, a także wyniki wstępnego etapu porównawczych badań korozyjnych powłok typu: Al, Zn, Cu i Pb wskazują na możliwość oraz potrzebę szybkiego rozwoju technologii aluminiowania zanurzeniowego.

Za trendem tym przemawiają użytkowe własności powłok Al, a w szczególności ich odporność na działanie korozji we wszystkich z badanych środowisk, przy czym, co charakterystyczne, odporność tę wykazywały zarówno w środowiskach stojących jak i w przepływach. Należy podkreślić, iż odporność w przepływach, szczególnie w środowiskach morskim i kopalnianym była od 3 do 4 razy większa od powłok cynkowych, co rokuje technologii aluminiowania szerokie zastosowanie w środowiskach o szczególnej agresywności korozyjnej. Równie wysoką odporność powłoki te wykazały w środowisku hodowlanym oraz w urządzeniach do magazynowania i transportu pasz treściwych, gdzie ich odporność w stosunku do stosowanych obecnie powłok Zn była nawet ponad 10-krotnie większa.

Za uniwersalnością powłok aluminiowych przemawia również możliwość ich wykorzystania w środowiskach korozyjnych o podwyższonej temperaturze, gdzie nie znajdują zastosowania powłoki Zn.

Wymienione własności jak i szerokie perspektywy konkretnych, już wstępnie sprawdzonych, zastosowań przemysłowych stanowiły podstawę dla określenia zapotrzebowania do roku 2000, którego wzrost w skali rocznej szacowany jest na 6-8%, aby osiągnąć wielkość produkcji rocznej około 200-300 tys. Mg wyrobów aluminiowanych.

Powłoki typu Pb oraz Cu przewidywane są do zastosowania w niektórych wybranych środowiskach korozyjnych, gdzie wymagana jest obok odporności na działanie korozji chemicznej, szczególnie w przypadku powłok Cu, odporność na erozję i kawitację. Natomiast powłoki Pb będą wykorzystane dzięki samopasywacji w środowisku zasiarczonej ropy naftowej i produktów jej rafinacji, a także w przemyśle wytwórstwa tworzyw sztucznych.

LITERATURA

[1] Samotyj M.: Metalizacja ogniowo-zanurzeniowa. Innowacje - Przegląd Techniczny, nr 11 (3738), 1977, ss. 18-20.

[2] Gouëbavlt J.: La tôle d'acier galvanisée. Revue de Métallurgie, 1976, nr 11, ss. 721-729.

[3] Richards R.A.G.: Galvanising today and tomorrow. Iron and Steel International, 1977, nr 1, ss. 37-40.

[4] Kryczewski J., Cudak T. i in.: Kompleksowa analiza obecnego stanu produkcji oraz zapotrzebowania do roku 2000 na wyroby metalizowane zanurzeniowo w kraju i na świecie. Sprawozdanie BPPWM "Biprowumet" O. Bytom w ramach problemu I-29 "Metalizacja zanurzeniowa" 1978. Praca niepublikowana.

[5] Zarządzenie Ministra Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki, Przemysłu Ciężkiego i Przemysłu Maszynowego z dnia 7.12.1974 r. w sprawie metalizacji ogniowo-zanurzeniowej, zwłaszcza aluminiowania zanurzeniowego.

[6] Bajka L.: Rozprawa doktorska. Katowice, grudzień 1973, ss. 22-23.

[7] Gierek A., Bajka L.: Aluminiowanie zanurzeniowe - własności i zastosowanie. Problemy Projektowe, 1976, nr 12, ss. 356-360.

[8] Gierek A. i współautorzy: Niektóre rozwiązania technologiczne z zakresu kształtowania własności warstwy wierzchniej wyrobów ze stopów Fe w świetle prac IIM. Praca Instytutu Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej, wyd. PAN - Sekcja Podstaw Technologii Komitetu Budowy Maszyn, Katowice, grudzień 1974, Zeszyt 14, ss. 11-56.

[9] Gierek A., Bajka L.: Aluminering en alternativ metod till forzinking. Korrosionsinstitutet, Stockholm, 1976, Bulletin, nr 77, ss. 3-19.

[10] Gierek A., Bajka L.: Das Feuer-Veraluminieren von Gussteilen aus Eisengusswerkstoffen. Giesserei, 1977, nr 14, ss. 391-395.

[11] Gierek A., Bajka L.: Aluminium diffusion coating of individual components. Machinery and Production Engineering, 1976, v. 129, nr 3324, ss. 518-520.

[12] Gierek A., Bajka L.: Eigenschaften und Einsatzgebiete des Tauchalitierens. Schweizer Maschinenmarkt, 1976, nr 34, ss. 44-46.

[13] Bajka L.: Technologia nieciągłego aluminiowania ogniowo-zanurzeniowego oraz możliwości jej zastosowania. Problemy Postępu Technicznego, 1974, nr 5, ss. 30-33.

[14] Gierek A., Bajka L.: Aluminium diffusion coating, Properties and applications. Equipment and Technology International, Nov. 1976, ss. 38-41.

[15] Gierek A., Bajka L.: Tauchalitieren - Eigenschaften und Einsatzgebiete, VDI-Z, 1976, nr 8, s. 19-22.

[16] Gierek A., Bajka L.: Sposób wytwarzania aluminiowanych zanurzeniowo wyrobów z żeliwa ciągliwego perlitycznego i z żeliwa ciągliwego czarnego. Patent PRL nr 69244.

[17] Gierek A., Bajka L.: Sposób ogniowo-zanurzeniowego aluminiowania wyrobów ze stopów żelaza. Patent PRL nr 94 340.

[18] Gierek A., Bajka L.: Sposób aluminiowania ogniowo-zanurzeniowego wyrobów ze stopów żelaza o kształcie zwartym, Patent PRL, nr 96 083.

[19] Gierek A., Bajka L., Adamczyk D.: Sposób przygotowania powierzchni wyrobów ze stopów żelaza, stopów niklu i stopów chromu przed procesem aluminiowania zanurzeniowego. Zgłoszenie patentowe PRL nr P - 194 999 z dn. 31.12.1976.

[20] Gierek A., Bajka L., Liberski P., Heydel Z., Malicki W.: Sposób wytwarzania warstw z aluminium i jego stopów na wyrobach z miedzi i jej stopach, względnie na wyrobach wielowarstwowych z warstwą miedzi lub jej stopów. Zgłoszenie patentowe PRL nr P-197 779 z dn. 29.04. 1977.

[21] Gierek A., Bajka L., Kołpak J.: Sposób usuwania ciekłego aluminium lub ciekłych jego stopów z wyrobów aluminiowanych metodą ogniowo-zanurzeniową. Patent PRL nr 95 514.

[22] Gierek A., Bajka L.: Aluminiowanie żeliwa ciągliwego z jednoczesną obróbką cieplną, Przegląd Mechaniczny, 1975, nr 7, ss. 221-224.

[23] Bajka L.: Wpływ parametrów procesu aluminiowania ogniowo-zanurzeniowego na własności mechaniczne ferrytyczno-perlitycznego żeliwa sferoidalnego. Materiały z Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej; Obróbka powierzchniowa, Katowice, marzec 1972, ss. 194-205.

[24] Bajka L.: Structure and mechanism of forming of aluminium diffusion coatings on a hypo-eutectic white cast iron, Scandinavian Journal of Metallurgy, 1975, nr 4, ss. 225-230.

[25] Bajka L.: Mechanizm tworzenia dyfuzyjnych powłok aluminiowych na żeliwie białym podeutektycznym. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Obróbka Powierzchniowa, Katowice, listopad 1973, ss. 133-163.

[26] Szank F.A.: Struktury dwojnych spławow. Mietałłurgija, Moskwa 1973.

[27] Łoskiewicz W., Orman M.: Układy równowagi podwójnych stopów metali. PWN, Warszawa 1956.

[28] Gierek A., Bajka L., Machnicka M.: Badania nad technologią tworzenia dyfuzyjnych powłok ze stopów miedzi metodą ogniowo-zanurzeniową na żelazie "Armco", Ochrona przed korozją, 1976, nr 1, ss. 89-93.

[29] Gierek A., Bajka L., Machnicka M.: Sposób wytwarzania powłok ze stopów miedzi na stopach żelaza. Zgłoszenie patentowe PRL, nr P-182 831 z dn. 19.08.1975.

[30] Gierek A., Bajka L., Liberski P.: Blei Aluminium Überzüge auf Gusseisen, Schweizer Maschinenmarkt, 9403 Goldach, 1977, nr 13,ss.64-66.

[31] Gierek A. i in.: Sposób wytwarzania warstw z ołowiu i jego stopów na wyrobach ze stopów żelaza, Zgłoszenie patentowe PRL nr P-182 775.

[32] Stężała S. i in.: Badanie własności użytkowych zanurzeniowych powłok metalicznych w wybranych środowiskach korozyjnych przemysłu rolno-spożywczego, a w szczególności konstrukcji budowlanych i urządzeń me-

chanizacji produkcji zwierzęcej oraz urządzeń przetwórstwa spożywczego. Sprawozdanie OBR "Meprozet" - Gdańsk w ramach problemu I-29 "Metalizacja zanurzeniowa" 1978 (praca niepublikowana).

[33] Kitowski A. i in.: Badania własności użytkowych zanurzeniowych powłok metalowych na elementach instalacji wodnych narażonych na działanie korozji i erozji w zakresie instalacji ciepłowniczych i wodnokanalizacyjnych. Sprawozdanie OBR "Meprozet" - Gdańsk w ramach problemu I-29 "Metalizacja zanurzeniowa" 1978 (praca niepublikowana).

[34] Szawłowska-Walisch K., Żurek Z., Klimkowicz K.: Badania własności użytkowych zanurzeniowych powłok metalowych w wybranych środowiskach kopalnianych w zakresie konstrukcji i urządzeń górniczych. Sprawozdanie OBR "Budokop" - Mysłowice, 1978, (praca niepublikowana).

[35] Zieliński A.: Badania własności użytkowych zanurzeniowych powłok metalowych w środowisku morskim. Etap III. Sprawozdanie CTO-Gdańsk, w ramach problemu I-29 "Metalizacja zanurzeniowa". 1978 (praca niepublikowana).

[36] Uhlig H.: Korozja i jej zapobieganie. WNT, Warszawa 1976.

[37] Gierek A. i inni: Sposób wytwarzania elementów układu wydechowego silników spalinowych o podwyższonej odporności na działanie korozji. Zgłoszenie pat. PRL nr P-203008 z dnia 14.12.1977.

[38] Gierek A. i inni: Sposób wytwarzania aluminiowanych elementów żeliwnej armatury przemysłowej, współpracujących z pierścieniami uszczelniającymi z gumy względnie z tworzyw sztucznych. Zgłoszenie pat. PRL nr P-202758 z dnia 7.12.1977.

[39] Gierek A. i inni: Sposób wytwarzania elementów palenisk mechanicznych o podwyższonej żarotrwałości. Zgłoszenie pat. PRL nr P-197777 z dnia 25.04.1977.

[40] Bajka L., Mazur L., Olczyk R.: Sposób żaroodpornego zabezpieczania elementów przepustnic w instalacji gazu wielkopiecowego. Zgłoszenie pat. PRL nr P-192308 z dnia 9.9.1976.

[41] Gierek A., Bajka L.: Sposób wytwarzania aluminiowanych zanurzeniowo wyrobów z czarnego oraz perlitycznego żeliwa ciągliwego. Pat. PRL nr 69244.

ДОСТИЖЕНИЯ ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРИИ МАТЕРИАЛОВ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДИФФУЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПОГРУЖЕНИЯ

Р е з ю м е

В реферате представлены достижения Института инженерии материалов в области исследований, а также организации и реализации программы развития металлизации путем погружения.

Реферат включает общую характеристику современного производства и прогнозы развития металлизации путем погружения в нашей стране и во всем мире; характеристику новых технологий металлизации, разработанных Институтом инженерии материалов, а прежде всего, алюминизации, меднения и свинцевания; программу исследований коррозии покрытий, полученных методом погружения, типа Al, Zn, Cu и Pb; результаты вступительных исследований коррозии перечисленных покрытий в разнообразных средах, и наконец, примеры промышленного использования технологий, разработанных ИИМ, которые связаны с металлизацией путем погружения.

Реферат показывает также механизм коррозии основных покрытий, т.е. Al, Cu и Pb в среде ионов Cl^- и SO_4^{-2}.

THE ACCHIEVEMENTS OF INSTYTUT INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ
IN THE RESPECT OF MANUFACTURING AND UTILIZATION
OF DIFFUSION DIP COATINGS

S u m m a r y

The paper deals with the acchievements of Instytut Inżynierii Materiałowej in the domain of research, organization and realization of the dip metallization development program.

The paper embraces: the general characteristics of the present state of production and perspectives of the development of dip metallization at home and abroad; the characteristics of new technologies of metallization worked out by Instytut Inżynierii Materiałowej, and mainly: aluminizing, copperizing, leading; the program of research on corrosion dip coatings types Al, Zn, Cu and Pb; the results of introductory research on corrosion in various environments, and eventually, the examples of industrial utilizations of technologies worked out by IIM pertinent to dip metallization.

The paper also presents the mechanizm of corrosion of the basic dip coatings, i.e. Al, Zn, Cu, Pb in the ion environment of Cl^- and SO_4^{-2}.