

Adam ZYBURA

PROCESY ELEKTROCHEMICZNE W STYKU ZBROJENIA Z BETONEM

Streszczenie. Przyjęto model stali zbrojeniowej dla opisu procesów korozji. Przedstawiono mechanizm powstawania potencjałów elektrodowych na powierzchni zbrojenia w styku z rysami i kapilarami betonu. Opisano potencjały elektrodowe w stanie równowagowym oraz uwzględniono zjawiska polaryzacji wywołane przepływem ładunków elektrycznych i naprężeniami w zbrojeniu.

1. WSTĘP

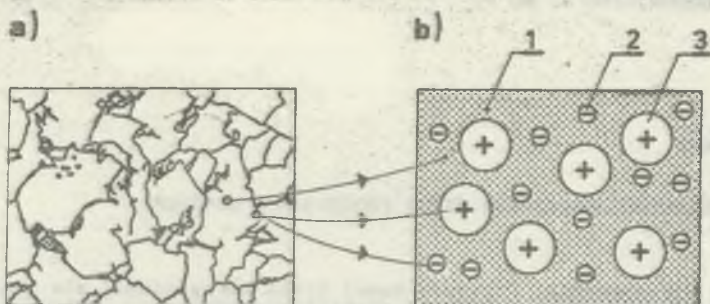
Korozja stali jest procesem charakteryzującym się powstawaniem oraz przepływem cząsteczek masy i ładunku elektrycznego. Jakkolwiek problem korozji stali posiada bardzo obszerną literaturę, to jednak istniejące rozwiązania nie mogą być stosowane bezpośrednio dla zbrojenia elementów żelbetowych. Ciągły kontakt z betonem posiadającym budowę kapilarno-porowatą stwarza specyficzne warunki przebiegu procesu. Sytuację dodatkowo komplikuje istnienie w otulinie rys wywołanych naprężeniami rozciągającymi.

Dotychczas nie zdołano przekonująco opisać zachodzących w zbrojeniu żelbetu zjawisk korozyjnych, a przedstawione informacje mają jedynie charakter poglądowy - np. [1, 2]. Wydaje się, że jedynie termodynamika procesów nieodwracalnych stwarza obiecujące przesłanki dla pełnego ujęcia zjawiska. Próbę takiego rozwiązania przedstawiono w pracy [3].

Jednym z elementów podejścia termodynamicznego jest wyznaczenie związków fizycznych określających potencjał elektryczny oraz potencjały chemiczne i źródła masy składników procesu. Wymienione parametry przepływu określić można metodami chemii fizycznej i elektrochemii. W pracy skupiono się nad opisem parametrów pola elektrycznego powstającego w wyniku kontaktu zbrojenia z zarysowaną otuliną betonową oraz działania w nim naprężeń. Uzyskane związki wykorzystane będą w następnej kolejności do stworzenia pełnego termodynamicznego modelu korozji zbrojenia w elementach żelbetowych.

2. MODEL STRUKTURY ZBROJENIA

Pręty zbrojeniowe wykonywane są ze stali miękkich o strukturze ziarnistej. Podstawowymi składnikami jest ferryt i perlit, przy czym ze względu na niedużą zawartość węgla dominują w tych gatunkach stali ziarna ferrytu [4] - rys. 1a.



Rys. 1. Budowa stali zbrojenowej

a) rzeczywista - wg [4] St3 powiększenie 500 x (ziarna jasne - ferryt, ciemne - perlit), b) zastępcza;

1 - szkielet, 2 - aktywne elektrony, 3 - aktywne rdzenie atomowe żelaza

Ferryt jest roztworem granicznym węgla w żelazie α [4]. Podstawę sieci krystalicznej stanowi komórka elementarna żelaza α . Ma ona kształt sześciianu, w którego narożach (węzłach) oraz centralnie w środku umieszczone są rdzenie atomowe żelaza. W niektóre przestrzenie międzywęzłowe wbudowane są atomy węgla (wg [5] max. 0,1% atomowych). Ponadto ferryt zawierać może także niewielkie ilości domieszkowych pierwiastków metalicznych. Ze względu na podobne do żelaza promienie atomowe, atomy tych pierwiastków wbudowywane są w węzły siatki krystalicznej. Ponieważ ferryt jest zasadniczo stopem jednofazowym, więc granice między jego ziarnami powstają wyłącznie wskutek różnych orientacji krystalograficznych sąsiednich kryształów [6]. Rozmieszczenie atomów w obszarach granic nie odpowiada rozmieszczeniu w poszczególnych ziarnach, gdyż atomy te ulegają wpływom atomów odmiennie zorientowanych kryształów sąsiednich.

Perlit posiada strukturę płytkową i składa się z płytek ferrytu i cementytu [4]. Cementyt jest węglikiem typu M_3C (w zasadzie Fe_3C), w którym część atomów żelaza mogą zastępować atomy innych pierwiastków metalicznych.

Najbardziej zagrożony działaniem korozji jest ferryt, z którego utworzone są odrębne ziarna oraz płytki perlitu. Drugi składnik perlitu - cementyt charakteryzuje się bardzo dużą odpornością chemiczną [4]. Można przyjąć, że nie bierze on udziału w procesie, a jego budowa przez cały czas pozostaje niezmienną. Struktura ziaren ferrytu utrzymywana jest dzięki wiązaniu metalicznemu. Poszczególne rdzenie atomowe znajdując się w ustawicznym ruchu drgającym wyznaczają regularne położenia węzłów siatki. W tych położeniach działające na rdzenie siły przyciągania i odpychania są w równowadze, a atomy posiadają najmniejszą energię potencjalną oraz największą energię wiązania. Ponieważ w obszarach granic ziaren odległości między atomami są odmiennie niż w komórce, więc energia potencjalna atomów leżących na brzegu jest większa niż atomów znajdujących się wewnątrz ziaren. Atomy strefy brzegowej posiadają zatem mniejszą energię wię-

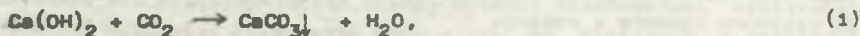
zanie i w przypadku dostarczenia z zewnątrz odpowiedniej ilości energii aktywizującej możliwe jest wyrwanie ich ze struktury granic ziaren.

W dalszych rozważaniach mikroskopowy schemat budowy stali zbrojeniowej zastąpiono znacznie bardziej uproszczonym modelem makroskopowym. Uwzględniono jedynie zasadnicze cechy mające wpływ na przebieg zjawisk korozyjnych.

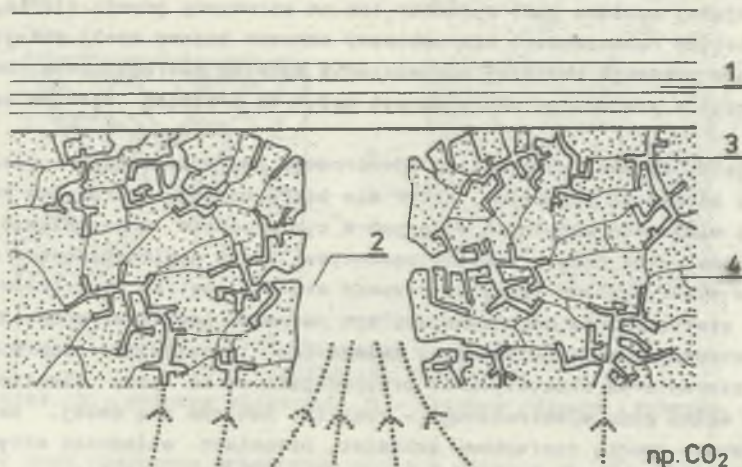
Przyjęto, że stal zbrojeniowa odwzorowana zostanie modelem ciała złożonego z elementów pasywnych, które nie biorą udziału w procesie korozyjnym oraz elementów aktywnych mogących w tym procesie uczestniczyć. Elementami pasywnymi będą kryształy cementytu, atomy węgla wbudowane w przestrzenie międzywęzłowe ferrytu, rdzenie atomowe wnętrza kryształów ferrytu oraz statystycznie odpowiadający tym rdzeniom gaz elektronowy. Do składników aktywnych zaliczy się jony żelaza (Fe^{2+}) znajdujące się w obrębie granic ziaren oraz statystycznie przypadające na te jony elektrony wchodzące w skład gazu elektronowego - rys. 1b. Zakłada się dalej, że składniki pasywne tworzą nieruchomy szkielet, natomiast składniki aktywne posiadają możliwość przemieszczania się względem tego szkieletu.

3. POWSTAWANIE POTENCJAŁÓW ELEKTRODOWYCH

Zbrojenie otoczone betonem styka się z wypełniającym kapilary i rysy roztworem wodnym wodorotlenku wapniowego ($Ca(OH)_2$). Kapilary tworzą system domen makrokapilarów o promieniu hydraulicznym $r \geq 1,6$ nm, połączonych ze sobą siecią mikrokapilarów o promieniu $r < 1,6$ nm. Rysy natomiast posiadają na całej swej długości w miarę jednakową rozwartość wynoszącą ok. 0,05–0,3 mm. Istnieje więc możliwość łatwego wnikania do rys substancji z otoczenia, co prowadzi do wystąpienia w tym miejscu reakcji chemicznych z wodorotlenkiem wapniowym. Zjawisko takie przebiega nawet w "czystym" powietrzu atmosferycznym, gdyż obecność dwutlenku węgla doprowadza do reakcji



w wyniku której tworzy się nierozpuszczalny produkt. Jednocześnie zmniejsza się stężenie $Ca(OH)_2$ w stosunku do stężenia występującego w roztworze zawartym w kapilarach - rys. 2. W konsekwencji tego zjawiska powstaje sytuacja podobna jak w tzw. stężeniowych ogniwach galwanicznych. Hipotetyczny przebieg procesów zachodzących w obszarach rys i na odcinkach poza rysami można przedstawić następująco.



Rys. 2. Schemat kontaktu zbrojenia z betonem
1 - zbrojenie, 2 - rysa, 3 - makrokapilary, 4 - sieć mikrokapilerów

3.1. Procesy elektrodowe w etyku z rysami

Ponieważ wodorotlenek wapniowy w wodzie dysocjuje



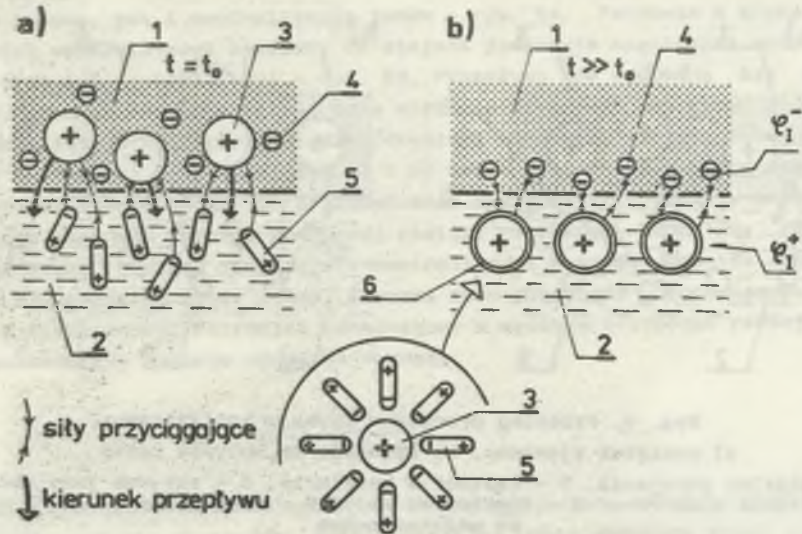
więc jednocześnie z reakcją (1) maleje zawartość jonów wapniowych i wodorotlenowych, natomiast wzrasta ilość cząsteczek wody. Cząsteczki wody charakteryzując się budową dipolową powodują powstanie sił przyciągających między ich biegunami ujemnymi i dodatnio naładowanymi rdzeniami atomowymi zbrojenia - rys. 3a. Siły te mogą wykonać pracę przewyższającą energię wiązania metalicznego aktywnych jonów żelaza i spowodować przejście jonów do roztworu zgodnie z reakcją



gdzie $(\text{Fe}^{2+})\ddagger$ oznacza aktywny stan przejściowy.

Zhydratyzowane jony Fe^{2+} w roztworze i pozostające w powierzchniowych warstwach elektrony wzajemnie się przyciągają tworząc z obu stron powierzchni rozdziálu tzw. warstwę podwójną - rys. 3b. Na powierzchni metalu kumuluje się nadmiar ładunków ujemnych (potencjał elektryczny ψ_{I}^-), natomiast w roztworze tuż przy zbrojeniu nadmiar ładunków dodatnich (potencjał ψ_{I}^+). Wytwarza się różnica potencjału elektrycznego, która jest potencjałem elektrodowym ψ_{I} zbrojenia w rysie

$$\psi_{\text{I}} = \psi_{\text{I}}^- - \psi_{\text{I}}^+. \quad (4)$$



Rys. 3. Przebieg procesu w etyku z rysą

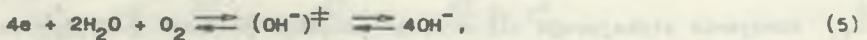
a) początek zjawiska, b) sytuacja po upływie czasu

1 - szkielec zbrojenia, 2 - roztwór w rysie, 3 - aktywne jony żelaza, 4 - aktywne elektrony, 5 - cząsteczki wody, 6 - zhydratyzowany jon żelaza

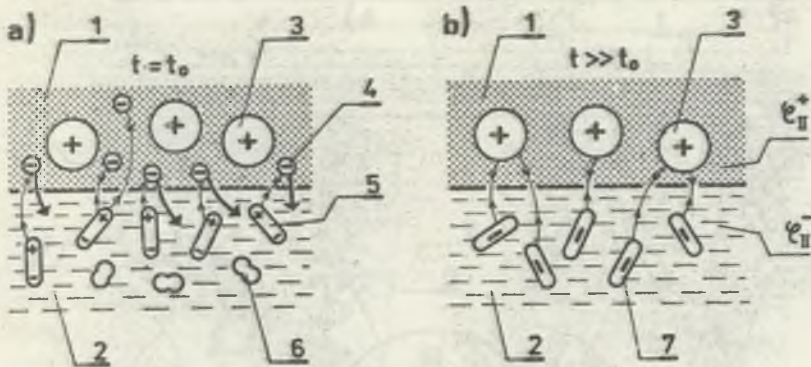
3.2. Procesy elektrodowe w etyku z kapilarami

Roztwór zalegający kapilary charakteryzuje się zawartością znacznie mniejszej ilości cząsteczek wody. Siły przyciąganie między dodatnio naładowanymi rdzeniami atomowymi metalu a ujemnymi biegunami cząsteczek wody nie są w stanie przekroczyć energii wiązania aktywnych jonów Fe^{2+} . Z tego powodu jony metalu pozostają w siatce krystalicznej zbrojenia. Możliwe jest jedynie przejście granicy fazowej przez aktywne elektrony wskutek działania sił przyciągających między ujemnie naładowanymi elektronami i dodatnimi biegunami cząsteczek wody - rys. 4a. Elektrony w roztworze powodują jonizację cząsteczek wody oraz cząsteczek tlenu, które przez kapilary dotarły z atmosfery w pobliże zbrojenia [1].

W wyniku reakcji



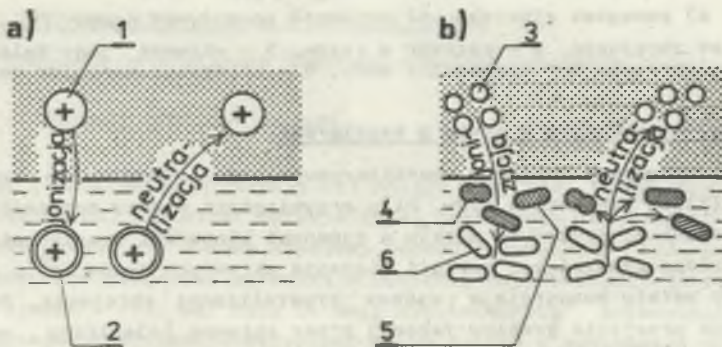
gdzie $(\text{OH}^-)^{\ddagger}$ oznacza aktywny stan przejściowy, tworzą się w roztworze ujemnie naładowane jony wodorotlenowe. Jony te przyciągane przez dodatnio naładowane rdzenie atomowe metalu gromadzą się w strefie kontaktowej tworząc podobnie jak w rysie warstwę podwójną - rys. 4b. Różnica potencjałów między obydwostronami warstwy podwójnej jest potencjałem elektrodowym



Rys. 4. Przebieg procesu w etyku z kapilarami

a) początek zjawiska, b) sytuacja po upływie czasu

1 - szkielec zbrojenia, 2 - roztwór w kapilarze, 3 - aktywne jony żelaza, 4 - aktywne elektrony, 5 - cząsteczki wody, 6 - cząsteczki tlenu, 7 - jony wodorotlenowe



Rys. 5. Schemat procesów w warstwie podwójnej na styku z

a) rysą, b) kapilarami

1 - atom żelaza, 2 - zhydratyzowany jon żelaza, 3 - elektrony, 4 - cząsteczki tlenu, 5 - cząsteczki wody, 6 - jon wodorotlenowy

ψ_{II} zbrojenia stykającego się z niezarysowanym betonem (na długości odcinka między rysami)

$$\psi_{II} = \psi_{II}^+ - \psi_{II}^- \quad (6)$$

4. POTENCJAŁY ELEKTRODOWE W STANIE RÓWNOWAGOWYM

Przepływy składników między zbrojeniem i roztworem zachodzą w dwóch przeciwnych kierunkach. W obciążeniu rysy następuje zarówno jonizacja ato-

sów żelaza, jak i neutralizacja jonów - rys. 5a. Podobnie w styku z roztworem wypełniającym kapilary ma miejsce jonizacja cząsteczek wody i tlenu oraz ich neutralizacja - rys. 5b. Przepływy nie odbywają się swobodnie, gdyż są hamowane siłami pola elektrostatycznego warstwy podwójnej. Jeżeli siły przyciągania między rdzeniami atomowymi i elektronami (w stali) a dipolami wody (por. rys. 3 i 4) zostaną zrównoważone przez siły pola elektrostatycznego, to przechodzenie składników globalnie ustanie. Po obydwu stronach warstwy podwójnej nastąpi równowaga, które ma charakter dynamiczny. Procesy jonizacji i neutralizacji występują bowiem nadal, lecz ich szybkości są sobie równe. Stanowi temu odpowiada równowagowy potencjał elektrodowy. Potencjał równowagowy w ogólnym przypadku reakcji elektrochemicznej opisuje równanie Nernsta

$$\psi^0 = \frac{RT}{zF} \ln K_a - \frac{RT}{zF} \ln \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (7)$$

uzyskane z porównania związków określających zmianę entalpii swobodnej ΔG podczas reakcji chemicznej oraz maksymalną pracę wykonaną przez ładunek w polu elektrostatycznym warstwy podwójnej - por. [8]. W równaniu (7) K_a oznacza termodynamiczną stałą równowagi reakcji, $[A]$, $[B]$ - aktywności substancji przed reakcją, $[C]$, $[D]$ - aktywności produktów reakcji, a, \dots, d - odpowiednie współczynniki stechiometryczne, R - stałą gazową, T - temperaturę, F - liczbę Faradaya, z - ilość elektronów biorącą udział w reakcji.

Dla zachodzącej w rysie reakcji (3), zgodnie z równaniem (7), równowagowy potencjał elektrodowy wynosi:

$$\psi_I^0 = \psi_I^* - \frac{RT}{2F} \ln i_1^* - \frac{RT}{2F} \ln C_1^0 \quad (8)$$

gdzie $\psi_I^* = -0,44$ V jest standardowym potencjałem zbrojenia w rysie, i_1^* - współczynnikiem aktywności jonów żelaza, C_1^0 - koncentracją jonów żelaza w warstwie podwójnej.

Reakcji (5) przebiegającej w styku z kapilarami towarzyszy potencjał równowagowy

$$\psi_{II}^0 = \psi_{II}^* + \frac{RT}{4F} \ln p - \frac{RT}{F} \ln i_2^* - \frac{RT}{F} \ln C_2^0 \quad (9)$$

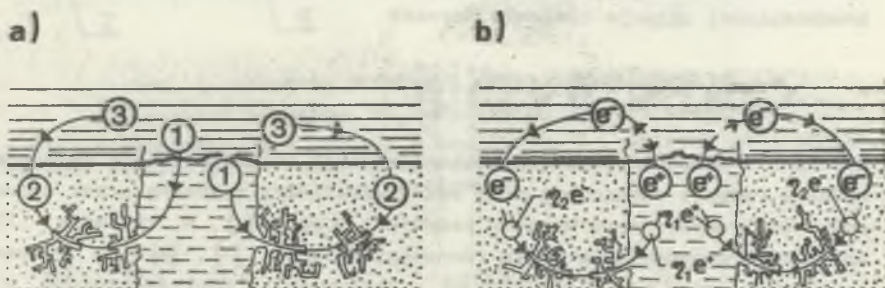
w którym $\psi_{II}^* = +0,40$ V jest potencjałem standardowym zbrojenia stykającego się z kapilarami, p - ciśnieniem tlenu w powietrzu atmosferycznym, i_2^* - współczynnikiem aktywności jonów wodorotlenowych, C_2^0 - koncentracją jonów wodorotlenowych w warstwie podwójnej.

Ustalając związki (8) i (9) przyjęto, że aktywność atomów żelaza w zbrojeniu oraz cząsteczek wody w roztworze wynosi 1, według prawa Henry' -

ego aktywność cząsteczek tlenu jest proporcjonalna do ich ciśnienia nad roztworem, a ponadto w reakcjach (3) i (5) bierze udział odpowiednio $z = 2$ i $z = 4$ elektrony.

5. POTENCJAŁY ELEKTRODOWE W TRAKCIE PRZEBIEGU PROCESU

Powstające na poszczególnych odcinkach zbrojenia zróżnicowane potencjały elektrodowe wywołują przepływ ładunków elektrycznych. Ładunki przemieszczają się wraz ze składnikami aktywnymi. Schemat przepływu składników ujęto na rys. 6a. W roztworze zalegają ryśy i kapilary betonu ża-



Rys. 6. Schemat przepływów
a) składników, b) ładunku elektrycznego

dunki elektryczne przenoszone są przez jony żelaza 1 i jony wodorotlenowe 2, natomiast w zbrojeniu przez elektrony 3. Połączony z transportem składników przepływ ładunków elektrycznych przedstawiono na rys. 6b. Wskutek przepływu ładunków, a także z powodu istnienia naprężeń mechanicznych w zbrojeniu potencjały elektrodowe φ_I i φ_{II} charakteryzują się wartościami odmiennymi od wartości potencjałów równowagowych φ_I^0 i φ_{II}^0 . Przyjęto, że zachodzą związki - por. [8]

$$\varphi_I = \varphi_I^0 + \Delta\varphi_I, \quad \varphi_{II} = \varphi_{II}^0 + \Delta\varphi_{II}, \quad (10)$$

gdzie φ_I i $\Delta\varphi_I$ oznaczają potencjał i nadpotencjał odcinka zbrojenia stykającego się z ryśą, natomiast φ_{II} i $\Delta\varphi_{II}$ - potencjał i nadpotencjał zbrojenia stykającego się z kapilarami. Powstanie nadpotencjałów związane jest ze zjawiskami polaryzacji. W rozważaniach pominięto wpływ polaryzacji stężeniowej jako nieistotny. Według [7] zmiana stężenia jonów dwuwartościowych o 10% powoduje zmianę potencjału elektrodowego jedynie o 0,03 V. Uwzględniono wpływ polaryzacji aktywacyjnej określając zależności na podstawie teorii absolutnych szybkości reakcji - por. [8].

Szybkość jonizacji w reakcji (3) jest proporcjonalna do stężenia aktywnego stanu przejściowego

$$\bar{v}_1 = \frac{d[\text{Fe}^{2+}]}{dt} = b'_1 [(\text{Fe}^{2+})^\ddagger] \quad (11)$$

Aktywny stan $(\text{Fe}^{2+})^\ddagger$ znajduje się w równowadze ze składnikami, a stała równowagi wynosi:

$$\bar{K}_1^\ddagger = [(\text{Fe}^{2+})^\ddagger] \quad (12)$$

Wyrażając stałą równowagi za pomocą zmiany entalpii swobodnej $\Delta\bar{G}_1$ w trakcie tworzenia aktywnego stanu przejściowego

$$\Delta\bar{G}_1 = -RT \ln \bar{K}_1^\ddagger, \quad (13)$$

równanie (11) sprowadzi się do postaci

$$\bar{v}_1 = b'_1 e^{-\Delta\bar{G}_1/RT} \quad (14)$$

Szybkość procesu odwrotnego (neutralizacji) wyrazi się związkami

$$\bar{v}_1 = \frac{d[\text{Fe}^*]}{dt} = b''_1 [(\text{Fe}^{2+})^\ddagger], \quad (15)$$

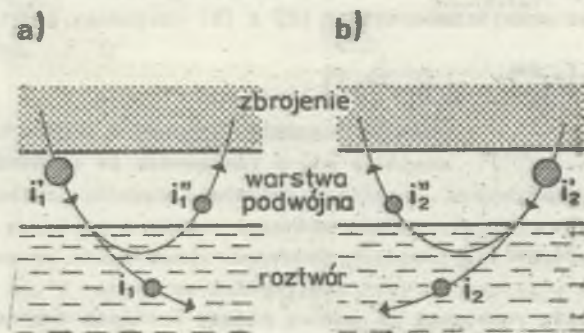
natomiast stała równowagi dla aktywnego stanu przejściowego wzorem

$$\bar{K}_1^\ddagger = \frac{[(\text{Fe}^{2+})^\ddagger]}{[\text{Fe}^{2+}]} \quad (16)$$

Uwzględniając zmianę entalpii swobodnej $\Delta\bar{G}_1$ w trakcie przejścia ze stanu aktywnego do metalu otrzyma się zależność:

$$\bar{v}_1 = b''_1 [\text{Fe}^{2+}] e^{-\Delta\bar{G}_1/RT} \quad (17)$$

W powyższych równaniach $[\text{Fe}^{2+}]$ oznacza aktywność jonów żelaza w roztworze, $[\text{Fe}^*]$ - aktywność atomów żelaza na nowo wbudowanych w siatkę krystaliczną ziaren zbrojenia, b'_1 i b''_1 - współczynniki. Zmiana entalpii $\Delta\bar{G}_1$ odpowiada pracy przeciwko siłom zewnętrznym podczas tworzenia przejściowego stanu aktywnego $(\text{Fe}^{2+})^\ddagger$. Ponieważ związek aktywny jest w równowadze ze składnikami wyjściowymi, więc zmiana entalpii swobodnej $\Delta\bar{G}_1$ równa się energii aktywacji procesu jonizacji w stanie równowagowym ($\Delta\bar{G}_1 = E_{a1}^0$). Energię aktywacji rozłoży się na część odpowiadającą pracy sił przyciągania między cząsteczkami wody i rdzeniami atomowymi w siatce krystalicznej



Rys. 7. Schemat rozdziału gęstości prądu elektrycznego w warstwie podwójnej na styku z

a) rysą, b) kapilarni

(\bar{E}_{a1}), część mechaniczną spowodowaną istnieniem naprężeń (δ) i odkształceń (ϵ) w zbrojeniu oraz część elektryczną związaną z pracą ładunku (zF) w polu elektrycznym o potencjale równym części $\varphi_1 \varphi_1$ potencjału elektrodowego zbrojenia w rysie - por. [8]

$$\Delta \bar{G}_1 = \bar{E}_{a1}^0 = \bar{E}_{a1} + \frac{1}{2} \delta \epsilon + \varphi_1 z F \varphi_1. \quad (18)$$

Uwzględniając fakt, że pozostała część potencjału elektrodowego $(1 - \varphi_1) \varphi_1$ oraz praca mechaniczna $\frac{1}{2} \delta \epsilon$ utrudnia proces neutralizacji określi się zmianę entalpii swobodnej w procesie odwrotnym

$$\Delta \bar{G}_1 = \bar{E}_{a1}^0 = \bar{E}_{a1} - \frac{1}{2} \delta \epsilon - (1 - \varphi_1) z F \varphi_1. \quad (19)$$

Gęstość prądu elektrycznego towarzyszącego procesowi jonizacji i neutralizacji (rys. 7a) określają związki:

$$i_1' = z F \bar{V}_1, \quad i_1'' = z F \bar{V}_1. \quad (20)$$

natomiast gęstość prądu wypływającego z warstwy podwójnej w kierunku rysy zależność

$$i_1 = i_1' - i_1''. \quad (21)$$

Pa uwzględnieniu, że w stanie równowagowym zachodzi równość

$$\begin{aligned} b_1' \exp - \left[\bar{E}_{a1} + \frac{1}{2} \delta \epsilon + \eta_1 z F \psi_1^0 \right] \frac{1}{RT} = \\ = b_1'' [Fe^{2+}] \exp - \left[\bar{E}_{a1} - \frac{1}{2} \delta \epsilon - (1 - \eta_1) z F \psi_1^0 \right] \frac{1}{RT}, \end{aligned} \quad (22)$$

powyższe związki sprowadzono do równania

$$i_1 = i_1^0 \exp - \left[\frac{1}{2} \delta \epsilon + \eta_1 z F \Delta \psi_I \right] \frac{1}{RT} \quad (23)$$

lub po przekształceniu i uwzględnieniu $z = 2$

$$\Delta \psi_I = \frac{RT}{2\eta_1 F} \ln i_1^0 - \frac{\delta \epsilon}{4\eta_1 F} - \frac{RT}{2\eta_1 F} \ln i_1, \quad (24)$$

gdzie i_1^0 jest gęstością prądu wymiany.

Budowa wzoru (24) jest podobna do uzyskanego eksperymentalnie dla ogniw galwanicznych równania Tafela - por. [7, 8].

Rozważając gęstości prądu jonizacji i_2' oraz neutralizacji i_2'' w styku zbrojenia z kapilarami betonu (rys. 7b) otrzyma się w sposób podobny związek

$$\Delta \psi_{II} = \frac{RT}{4\eta_2 F} \ln i_2^0 - \frac{RT}{4\eta_2 F} \ln i_2. \quad (25)$$

W tym przypadku wpływ naprężeń i odkształceń jest nieistotny, gdyż czynniki mechaniczne praktycznie nie oddziałują na energię poruszających się bezładnym ruchem elektronów. Ponadto η_1 i η_2 oznaczają współczynniki przeniesienia.

6. UWAGI KOŃCOWE

Przyjęcie prostych modeli budowy stali zbrojeniowej i przebiegu procesu pozwoliło na określenie zjawisk elektrycznych w skomplikowanym przypadku styku wkładek z wypełniającym rysy i kapilary betonu roztworem produktów hydratacji cementu portlandzkiego. Potencjały elektrodowe odcinków zbrojenia znajdujących się w rysie oraz między rysami stanowią podstawę obliczenia gradientu pola elektrycznego

$$\text{grad } \psi = \psi_I^0 - \psi_{II}^0 + \Delta \psi_I - \Delta \psi_{II}, \quad (26)$$

który jest częścią sił uruchamiających i napędzających przepływy składników.

Otrzymane związki wykorzystane zostaną w następnej kolejności do określenia bilansu energii wewnętrznej oraz nierówności finalnej procesu korozyjnego. W dalszym zamierzeniu wyniki rozważań termodynamicznych służyć będą do stworzenia równań teorii nośności granicznej zagrożonych korozją konstrukcji żelbetowych.

LITERATURA

- [1] Moskwin W.M., Aleksiejew S.N., Werbeckij G.P., Nowgorodzkij W.I.: Trziesięć w żelazobetonie i korozja armatury. Strojizdat, Moskwa 1971.
- [2] Ściślewski Z.: Korozja i ochrona zbrojenia. Arkady, Warszawa 1982.
- [3] Zybura A.: Próba termodynamicznego opisu korozji zbrojenie w żelbecie. XXX Jubil. Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1984. Mat. Konf. t. 3, №. 161-166.
- [4] Staub F.: Atlas metalograficzny stali. WNT, Warszawa 1964.
- [5] Szarras S.: Budowa ciała stałego. WNT, Warszawa 1974.
- [6] Okoniewski S.: Podstawy fizyczne technologii materiałowej. WNT, Warszawa 1974.
- [7] Erdéy - Grúz T.: Die chemischen quallen der energie. Akadémiai Kiadó, Budapest 1971.
- [8] Sobczyk L., Kiszka A.: Chemia fizyczna dla przyrodników. PWN, Warszawa 1981.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА СТЫКЕ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ

Резюме

Принято модель арматуры для описания коррозионных процессов. Представлено механизм образования электродных потенциалов на поверхности арматуры. Описано равновесные электродные потенциалы, а также явления поляризации.

ELECTROCHEMICAL PROCESSES IN CONTACT OF REINFORCEMENT WITH CONCRETE

Summary

The model of steel reinforcement for description of corrosion processes is carried out. The mechanism of arising of electrode potentials on surface of reinforcement in contact with cracks and capillaries is presented. The electrode potentials in the state of equilibrium is described as well as the polarization effect caused by passage of electric charges and stresses in reinforcement are taken into consideration.