

NAUKI TECHNICZNE

Krzysztof JAMROZIAK*
Wiesław JARGULIŃSKI

POWŁOKI ANTYWODOROWE NA METALACH

Przedstawiono propozycję użycia powłok z tworzyw sztucznych w celu zminimalizowania wnikania wodoru do metali. Na podstawie analizy literatury oraz dotychczasowych badań własnych omówiono proces nawodorowania metali. W oparciu o zjawisko Donnana przedstawiono jego działanie na powłokach o polaryzacji dodatniej i ujemnej. Wykorzystując to zjawisko, zaproponowano koncepcję pewnego rozwiązania podwyższenia trwałości zmęczeniowej metali, zapobiegając powstawaniu szczelin zmęczeniowych.

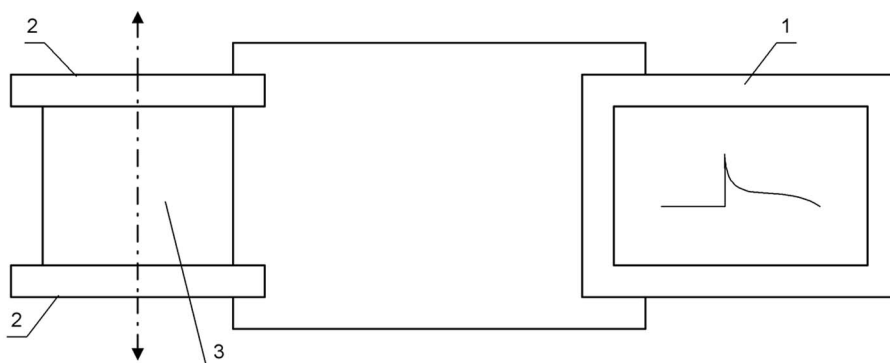
Słowa kluczowe: powłoki antywodorowe, nawodorowanie metali, wytrzymałość zmęczeniowa, szczelina zmęczeniowa, metale, powłoki ochronne, elektryczna warstwa podwójna, zjawisko Donnana

WSTĘP

Na granicy metali i powietrza oraz metali pokrytych warstwą z tworzyw sztucznych o budowie częściowo krystalicznej powstaje w sposób naturalny elektryczna warstwa podwójna (EWP) podobna do płaskiego kondensatora elektrycznego. W warstwie tej, w obszarze na granicy *metal-powietrze*, nad powierzchnią metalu tworzy się cienka warstwa ładunku elektryczności ujemnej, złożona z elektronów przewodnictwa tworzących tzw. chmurę elektronową. Natomiast na granicy metalu i tworzywa sztucznego może wystąpić EWP o różnej polaryzacji (znakach ładunków elektrycznych w tworzywie), w postaci jako elektryczność ujemna (nadmiar elektronów) lub dodatnia, niedomiar elektronów w porównaniu do przyległej warstwy metalu. Elektryczności tej nie można usunąć ani znad powierzchni metalu, ani

* ppłk dr inż. Krzysztof JAMROZIAK – Wydział Planowania i Koordynacji Badań Naukowych Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych
dr inż. Wiesław JARGULIŃSKI

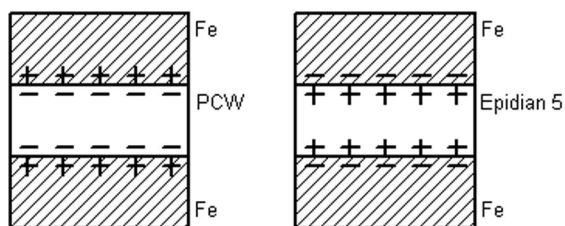
z powłokowego tworzywa sztucznego. Nie należy jej utożsamiać z ładunkami elektryczności statycznej występującej na powierzchni tworzyw sztucznych, które można usunąć przez uziemienie. Istnienie elektrycznej warstwy podwójnej na granicy metal-tworzywo sztuczne o budowie częściowo krystalicznej zostało odkryte doświadczalnie w 1954r. [1, 2], metodą delaminacji rozrywającej powłoki z powierzchni metalu, wykorzystując dość prosty układ pomiarowy (rys. 1), w którym wartości ładunków elektrycznych zostały zarejestrowane z wykorzystaniem oscyloskopu.



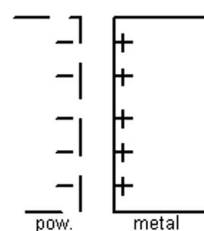
Rys. 1. Schemat układu pomiarowego:
1 – okładziny, 2 – dielektryk, 3 – oscyloskop [3]

Kolejnym krokiem było przeprowadzenie szeregu eksperymentów mających na celu ustalenie znaków polaryzacji EWP.

Typowymi przedstawicielami charakteryzującymi się występowaniem EWP są powłoki z żywicy Epidian 5 o polaryzacji dodatniej i PCW o polaryzacji ujemnej (według znaków elektryczności w tworzywie sztuczным). Taką polaryzację powyższej opisanych materiałów przedstawiono na rysunku 2, a schemat oddziaływania elektrycznej warstwy podwójnej na czystym metalu pokazano na rysunku 3.



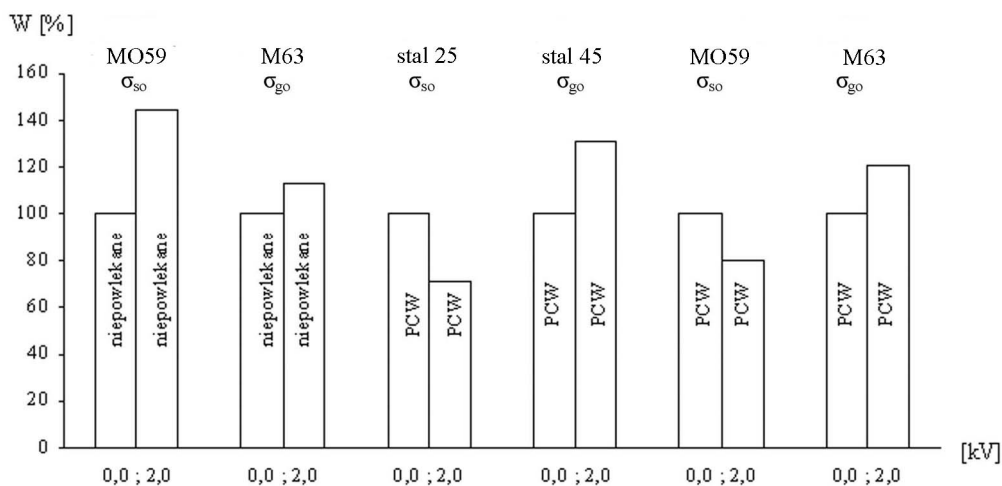
Rys. 2. Schematyczne ujęcie polaryzacji w próbkach powlekanych PCW i Epidian 5 [3, 4]



Rys. 3. Schemat występowania EWP dla niepowlekanego metalu [3, 4]

Jak zauważamy polaryzacja na czystym metalu niepowlekanym jest także ujemna, jak w przypadku powłoki z PCW. W dalszej części dla wyjaśnienia istoty problemu na przykładzie badań [5] dotyczących wpływu EWP na wytrzymałość zmęczeniową metali powlekanych wybranymi powłokami pokazano, w jaki sposób można podnosić zadaną wytrzymałość zmęczeniową. W tym przypadku eksperyment został oparty na testach zmęczeniowych próbek powlekanych powłokami PCW i próbek niepowlekanych z przyłożonym polem elektrycznym, co w przypadku wartości siły adhezji miało istotne znaczenie (rys. 4).

Należy zaznaczyć, że wpływ pola elektrostatycznego na wielkość EWP powodował zmiany w wytrzymałości zmęczeniowej. Jednak próbki bez powłok z tworzyw sztucznych wykazywały mniejsze wartości. W tym przypadku decydowały inne czynniki, a mianowicie wnikanie wodoru.



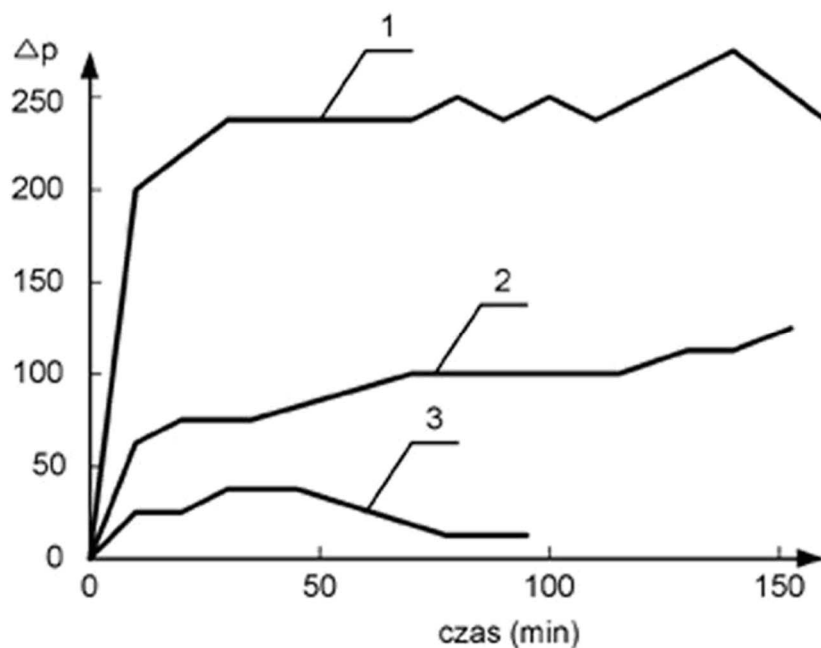
Rys. 4. Zmiany żywotności zmęczeniowej wybranych próbek powlekanych tworzywem i niepowlekanych [5]

1. UJĘCIE PROBLEMU

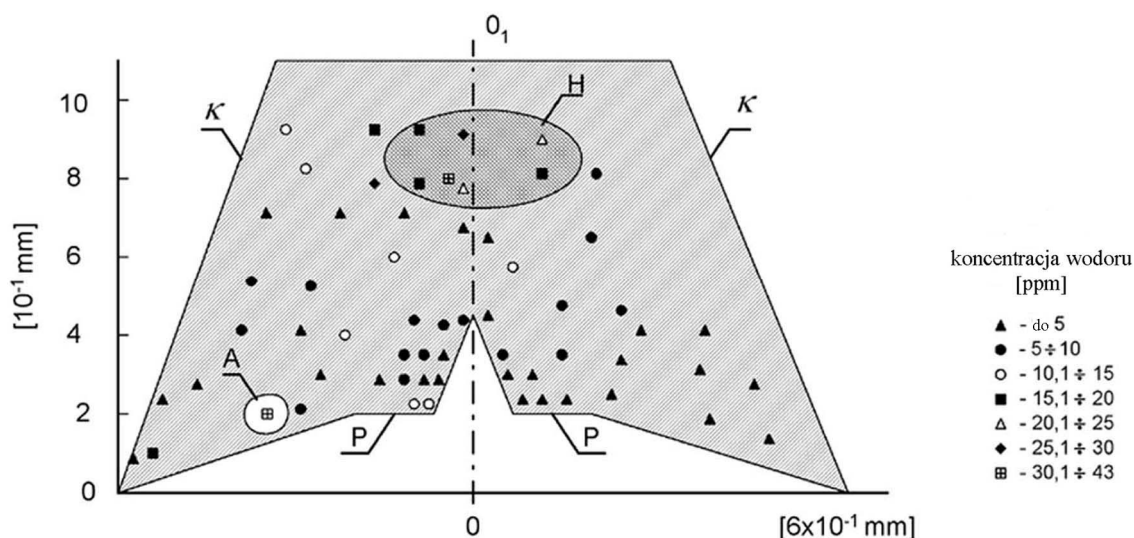
Zjawisko wnikania wodoru do metali obciążonych zmęczeniowo jest zagadnieniem znanym od dawna. Jednak cały mechanizm z tym związany nadal stanowi pewien niezbadany obszar. W wielu opracowaniach starano się wyjaśnić tzw. częściowo kruchy charakter rozwoju niewielkich pęknięć zmęczeniowych. W pracy [6] autorzy jednoznacznie sugerują, że za ten stan rzeczy odpowiedzialny jest wodór. W dość prosty sposób przeprowadzono badania próbek wykonanych ze stopu tytanu WT3-1 obciążonych jednocześnie zmęczeniowym zginaniem i skręcaniem. Na podstawie pobranych wycinków ze strefy uszkodzonej i nieuszkodzonej pomierzono wartości desorbowanego wodoru. Wyniki zestawiono w postaci wykresu (rys. 5), z którego wynika, że wielkości wodoru w strefie zniszczenia są o rząd większe od strefy nienaruszonej (w części chwytowej próbki).

Jeszcze w innych opracowaniach, a przede wszystkim w pracy [7] mechanizm wnikania wodoru wyjaśniono na przykładzie szczeliny pęknięcia. Zauważono bowiem, że zawartość wodoru jest rozłożona nierównomiernie. Najwyższe wartości zarejestrowano w obszarze przed czołem szczeliny (25-43 ppm), średnie wartości, w pobliżu jej powierzchni po obu stronach, co przedstawiono na rysunku 6. Porównując wartości z rysunku 5, widać inną skalę wartości, która wynika z różnorodnego środowiska.

Wartości prezentowane na rysunku 6 były rejestrowane w warunkach naturalnego otoczenia, gdzie stężenie pary wodnej jest nieporównywalnie dużo większe aniżeli warunki laboratoryjne.



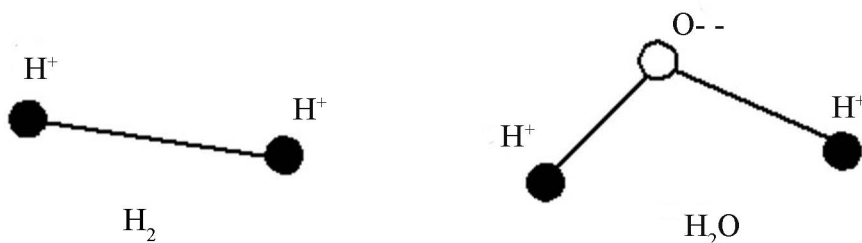
Rys. 5. Wartości przebiegu zmian ilości desorbowanego wodoru w funkcji czasu wygrzewania:
1 – warstwa wierzchnia, 2 – warstwa środkowa, 3 – części chwytowe próbek [6]



Rys. 6. Rozłożenie koncentracji wodoru w strefie szczeliny zmęczeniowej [7]

Zmiany koncentracji wodoru w tejże szczelinie pęknięcia wykazują jego największą koncentrację przed czołem samej szczeliny. Jak wykazano w opracowaniu [8], to maksimum znajduje się w odległości $x_m \approx 2\delta$. Parametr δ nazywany jest rozwartością szczeliny zmęczeniowej [9]. Analizy wykazały, że przed czołem szczeliny zmęczeniowej znajduje się silnie odkształcony, zdeformowany obszar strefy plastycznej, który w miarę rozwoju wzrostu długości szczeliny przesuwa się do przodu. W niej gromadzi się największa ilość zaadsorbowanego wodoru. Wraz ze wzrostem szczeliny zmęczeniowej strefa z wchłoniętym wodorem przesuwa się przed jej wierzchołkiem. Absorpcja wodoru odbywa się od strony atmosfery, głównie z pary

wodnej (H_2O), ponieważ wodór gazowy H_2 występuje w znikomych ilościach, w stratosferze i gazach wulkanicznych. W cząstce H_2 atomy powiązane są wiązaniem (kowalencyjnym homeopolarnym). Wiążą je dwa elektrony o przeciwnych spinach. Odległość między jądrami wynosi 0,074 nm. Między dwoma dodatnimi jądrami (protonami) przebiegają oba elektrony i w tym miejscu prawdopodobieństwo przebywania elektronów jest największe. Tworzy się jakby chmura ładunku ujemnego. Wodór dwuatomowy jest liniową cząsteczką polarną, ale jeszcze silniej polarną cząsteczką jest para wodna, ponieważ ma budowę kątową. W parze wodnej dwa jądra atomów wodoru znajdują się w odległości 0,096 nm od jądra tlenu i tworzą między sobą kąt $104,5^\circ$. Jest to cząsteczka silnie polarna, ponieważ tlen posiadając sześć elektronów tworzy orbital łącznie z dwoma elektronami dwóch wodorów, co przekłada się na ładunek ujemny (nadmiar elektronów). Wodory zaś pozbawione elektronów tworzą ładunki dodatnie. Należy pamiętać, że te wszystkie wspólne osiem elektronów jest w ciągłym ruchu, nie licząc dwóch elektronów tlenu o przeciwnych spinach krążących po orbicie K i z nią ściśle związanych. Na rysunku 7 przedstawiono schemat polarnej budowy cząsteczkowego wodoru i pary wodnej.



Rys. 7. Polarna budowa cząsteczki wodoru i pary wodnej

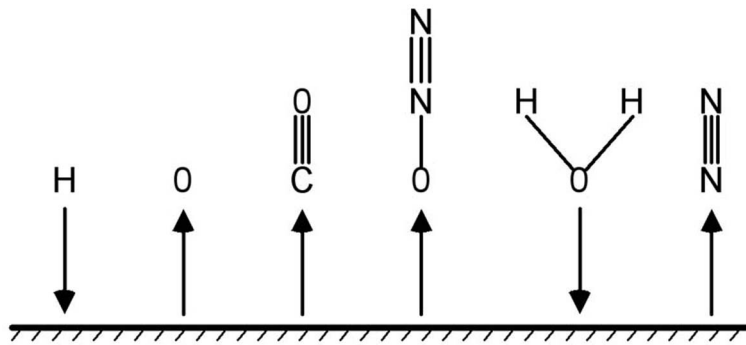
Gazy, czyli wodór i para wodna posiadają zdolność do osiadania na metalach, tworząc tzw. absorpcję. W zależności od rodzaju sił wiążących cząsteczki gazowe z metalem wyróżnia się absorpcję fizyczną lub chemiczną, zwaną też chemisorpcją. Są to siły fizyczne lub wiązania chemiczne. Absorpcja fizyczna jest wielowarstwowa i zachodzi w bardzo krótkim czasie [10], na świeżo powstałej powierzchni pęknięcia (czystej nieprzykrytej niczym innym), trwa krótki okres rzędu 10^{-8} s, natomiast chemisorpcja przebiega wolniej [3]. Adsorpcja fizyczna polega na wiązaniu się cząstek gazu z powietrzem absorbentu głównie za pomocą sił van der Waalsa [10]. W chemisorpcji są to wiązania typu chemicznego z wymianą elektronów na linii metal-cząstki gazowe (np. wodór i para wodna).

2. PROCES NAWODOROWANIA METALI

Rozpatrując model nawodorowania metali obciążonych w sposób zmienny oraz niepowlekanych jakimikolwiek powłokami niemetalicznymi, jest to proces dość skomplikowany. Należy uświadomić sobie, że czyste powierzchnie metali są pokryte tlenkami i zaabsorbowanymi gazami atmosferycznymi, głównie azotem i tlenem. Taka powierzchnia metalu przypomina dość nietypową powierzchnię. Za sprawą zmiennego obciążenia metalu na jego powierzchni powstają swego rodzaju uskoki i jamki dyslokacyjne oraz inne nowe powierzchnie w postaci mikropeknięć, mikroszczelin czy wreszcie szczeliny zmęczeniowe. Budowa metalu jest prosta. Posiada on szkielet dodatnich jonów rozmieszczonych w pewnym porządku, między którymi znajdują się

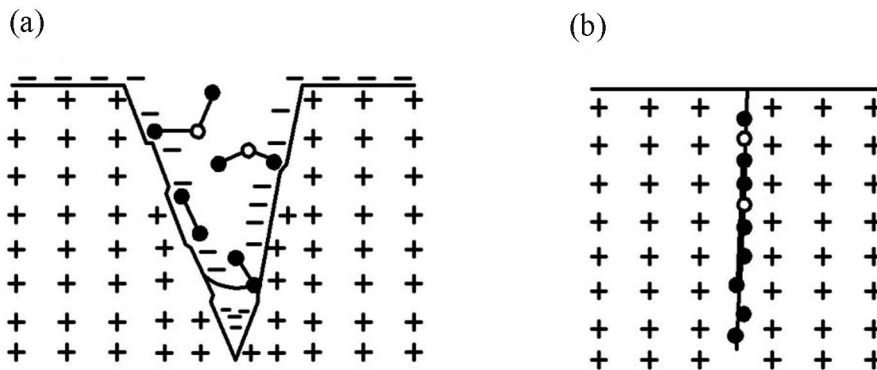
elektrony przewodnictwa, wspólne dla całego zespołu jonów, tworząc tak zwany gaz elektronowy. Jony szkieletu metalicznego są utrzymywane w stałej odległości od siebie za pomocą potężnych sił wiązania metalicznego. Jest to budowa idealna. W rzeczywistych metalach jony te przechodząc ze stanu ciekłego w stały (krzepnięcie) tworzą idealne kryształy w wielu miejscach równomierne rozłożenie, ale różnie zorientowane, a metal to zbiór takich kryształów. Wewnątrz tych kryształów i na ich granicach mogą być różne zanieczyszczenia, wtrącenia, pęcherze gazowe czy też puste miejsca. Taka struktura metalu jest niejednorodna, różniąc się wielkością, kształtem, właściwościami fizycznymi, może być różnie zorientowana. Utworzona sieć krystaliczna bloków (krystalików) może się charakteryzować defektami w postaci dyslokacji lub pustych miejsc (wakansów), wtrąceń metalicznych i niemetalicznych. Stwarza to stan naprężenia w okolicy takiego zaburzenia sieci. Siły wewnętrznego obciążenia działające na metal wywołują powstanie w nim naprężeń stycznych, które mogą uruchomić dyslokacje w odpowiednio zorientowanych blokach itp. Dyslokacje przemieszczają się ku powierzchni ziaren struktury metalu, gdzie zostają zatrzymane, gdy występuje zbyt silne zaburzenie. Dyslokacje w ziarnach powierzchniowych ujawniają się na powierzchni, w postaci jamek lub uskoków. Jeżeli metal jest obciążony, to następuje przemieszczenie części ziaren powierzchniowych wzdłuż płaszczyzn poślizgów i części bloków, wychodząc na powierzchnię metalu, tworząc różne nierówności. W ten sposób powstają nowe powierzchnie, do których mogą się przyczepiać różne cząstki gazowe powietrza. Powyższe zjawiska zachodzą na początku procesu obciążenia zmęczeniowego, w pierwszym etapie inkubacji [9, 11].

W drugim etapie submikropęknięcia występują w warstwie przypowierzchniowej i są rozmiarów bloków i ziaren. W dalszym etapie obciążenia zmiennego metalu powstają już mikropęknięcia i szczeliny zmęczeniowe. W ten sposób przybywa dużo nowej powierzchni metalicznej. Przed czołem takiej szczeliny zmęczeniowej występuje strefa odkształcenia plastycznego [9]. Szczególne znaczenie w nawodorowaniu metalu posiadają powstałe nowe powierzchnie, w mikroszczelinach i szczelinach zmęczeniowych. W porównaniu do powierzchni uskoków czy jamek dyslokacyjnych są większe. Nowe powierzchnie metaliczne powstałe na skutek w półcyklach rozciągania powodują zassanie powietrza zawierającego cząstki pary wodnej. W takiej szczelinie, w jej części czołowej gromadzą się elektrony chmury elektronowej elektrycznej warstwy podwójnej. Znajdujące się w metalu elektrony posiadają zdolność przeskakiwania przez puste przestrzenie sieci krystalicznej na znaczne odległości parametrów sieci. Szczególnie gęsto nasycony elektronami jest sam szpic czoła szczeliny zmęczeniowej, który tworzy silny ładunek ujemny oddziaływujący w postaci przyciągania na dodatnie wodory pary wodnej, będące w zassanym przez szczelinę powietrzu. Ujemny ładunek w obrębie wierzchołka szczeliny przyciąga silniej elektrostatycznie dodatni wodór pary wodnej, niż inne miejsca powierzchni metalu. Tak samo działa przyciągająco EWP powstała po obu stronach powierzchni szczeliny zmęczeniowej. Z chwilą, gdy powłoki elektronowe cząsteczek pary wodnej zetkną się z chmurą elektronową nad powierzchnią szczeliny zmęczeniowej następuje etap wnikania wodoru do metalu. Zjawisko to zaobserwowano pod koniec lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Na podstawie tych badań pokazano przemieszczenia elektronów różnych gazów (rys. 8). Zauważono, że para wodna i wodór oddają elektrony do metalu a tlen je z niego pobiera.



Rys. 8. Schematyczne ujęcie przemieszczeń elektronów różnych gazów na powierzchni czystego niklu [10]

Nowo powstała czysta powierzchnia metalu na czole szczeliny zmęczeniowej pełni dodatkowo rolę katalizatora chemicznego. W czasie absorpcji fizycznej cząstki gazowej na czystej powierzchni metalu może zajść dysocjacja, czyli rozpad jej na atomy lub prostsze cząstki. Według literatury [11, 12,13] dysocjacji ulega także cząstka wodoru H₂. Po oddaniu elektronów przez parę wodną następuje jej rozpad (dysocjacja) na jony wodoru i jon tlenu. W takim przypadku zachodzi jednocześnie absorpcja i kataliza cząstek H₂O. Czas rozwarcia szczeliny zmęczeniowej jest kilka rzędów (5-6 rzędów) dłuższy od czasu adsorpcji fizycznej, który waha się w przedziale ok. 10⁻⁸ sek. Powstają wtedy jony H⁺, których najwięcej koncentruje się w nowo pękniętej strefie czystego metalu przy wierzchołku szczeliny zmęczeniowej. W trakcie zamknięcia szczeliny zakłada się mechaniczne niszczenie struktury pary wodnej, co wpływa na zwiększenie ilości jonów wodoru. Jon wodoru jako mały proton dryfuje w sieci krystalicznej metalu, a szczególnie w zdeformowanej sieci obszaru plastycznego przed wierzchołkiem szczeliny zmęczeniowej. Mechanizm takiego działania przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Mikroszczelina zmęczeniowa: a) w półcyklu rozciągania, b) w półcyklu ściskania, ● – atom wodoru, ○ – atom tlenu [5]

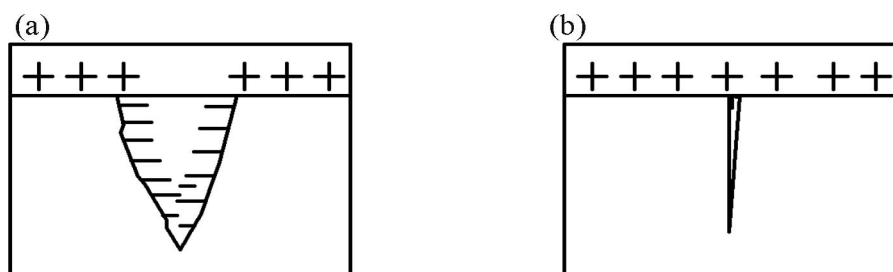
Na podstawie analizy pracy szczeliny zmęczeniowej w półcyklach ściskania i rozciągania wynika, że wierzchołek tej szczeliny przyczynia się w szczególności w nawodorowaniu metali, ponieważ:

- występuje elektrostatyczne przyciąganie przez ujemną część elektrycznej warstwy podwójnej dodatnich elektrycznie wodorów pary wodnej lub wodorów cząsteczkowych,

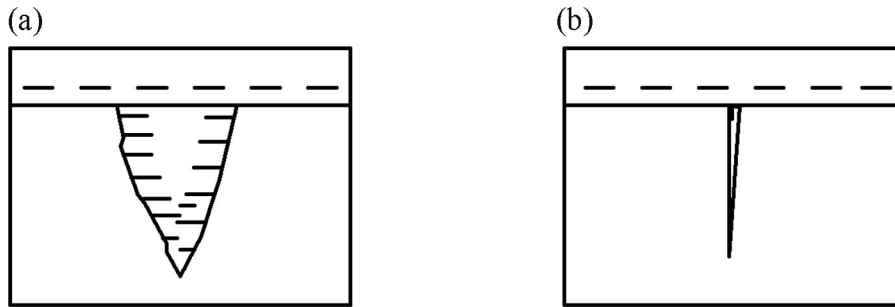
- następuje dysocjacja wodoru i pary wodnej przez powstające nowe powierzchnie w wyniku mikropęknięć metali, przez co te powierzchnie stają się katalizatorami chemicznymi, a metal w tym przypadku wchłania elektrony,
- występuje ssące działanie powietrza rozwierającej się szczeliny zmęczeniowej,
- sprzyja długi czas tego rozwarcia w stosunku do szybkości adhezji fizycznej,
- korzystnie wpływa mechanizm niszczenia struktury wodoru i pary wodnej w trakcie zamknięcia szczeliny zmęczeniowej,
- występuje przed wierzchołkiem szczeliny zmęczeniowej silnie zdeformowana strefa plastyczna, sprzyjająca dyfuzji małego wielkości protonu jądra jonowego wodoru H^+ w sieci krystalicznej pracującego zmęczeniowo metalu.

3. KONCEPCJA POWŁOKI ANTYWODOROWEJ

Autorzy proponują i dają pod rozwagę zastosowanie powłoki niemetalicznej utrudniającej wnikanie pary wodnej lub wodoru cząsteczkowego do powierzchni metalu. Jak już wcześniej zauważono każda powłoka z tworzywa sztucznego charakteryzuje się występowaniem odpowiednich por i kanalików, przez które przedostają się cząstki gazów z atmosfery. Znane jest zjawisko selektywnej przepuszczalności przez polimery różnego rodzaju ciekłych elektrolitów. W polimerach tych obecne ładunki elektryczne odpychają jednoimienne naładowane jony tego elektrolitu. Zauważa się wpływ zjawiska Donnana, które jest charakterystyczne dla tego środowiska, natomiast miejsca w porach i kanalikach, gdzie występuje hamowanie jonów, tworzy pewną zaporę definiowaną jako tzw. barierę Donnana. Jeżeli dodatkowo naładowane części łańcuchów polimeru powłoki byłyby skierowane ku ściankom porów to wskutek elektrycznego odpychania dodatnich wodorów pary wodnej nie mogłyby się one przedostać do powierzchni szczeliny zmęczeniowej. Ujemnie naładowane atomy polimeru przy ściankach kanalików także oddziaływałyby na polarną cząsteczkę pary wodnej. Ładunek dodatni lub ujemny EWP w przylegającej do metalu warstwie tworzywa sztucznego dodatkowo oddziaływałyby na cząsteczki pary wodnej, utrudniając zetknięcie się jej z powierzchnią metalu. Należałoby zbadać działanie obu rodzajów powłok, o polaryzacji dodatniej oraz ujemnej. Powłoka antywodorowa musiałaby być wysoce elastyczna, by nie pękła w trakcie rozwarcia się szczeliny zmęczeniowej. Weryfikacji należałoby poddać koncepcję powłoki o polaryzacji dodatniej i polaryzacji ujemnej, których schemat działania w półcyklach rozciągania i ściskania na podstawie wstępnych badań został przedstawiony na rysunkach 10 i 11.

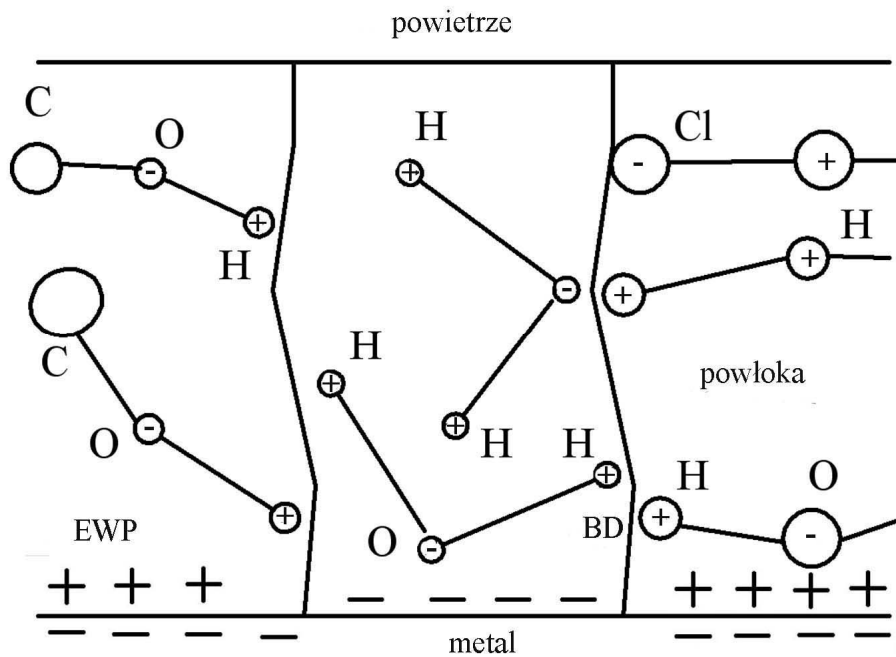


Rys. 10. Mikroszczelina zmęczeniowa z powłoką antywodorową o polaryzacji dodatniej:
a) w półcyklu rozciągania, b) w półcyklu ściskania

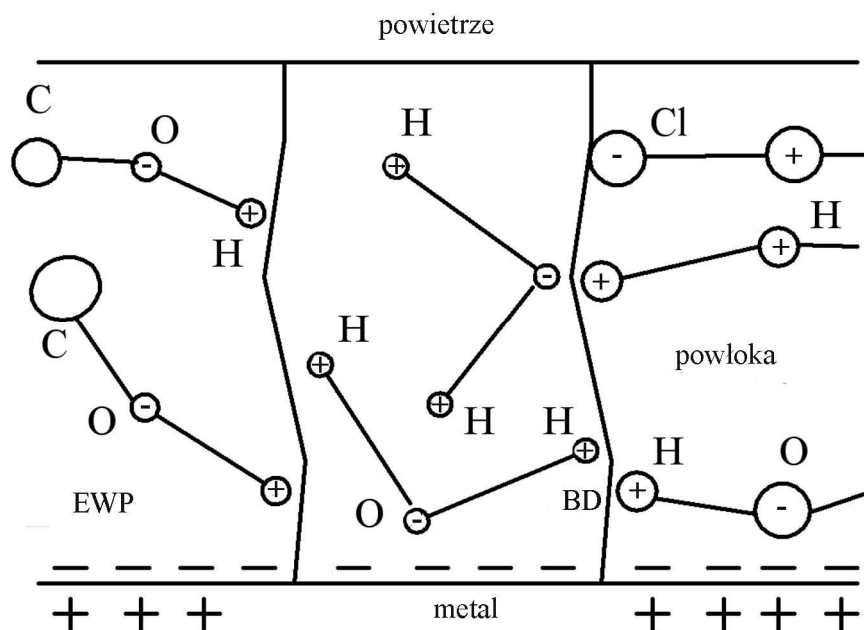


Rys. 11. Mikroszczelina zmęczeniowa z powłoką antywodorową o polaryzacji ujemnej:
a) w półcyklu rozciągania, b) w półcyklu ściskania

Po wstępnych wynikach badań i analizie literatury [9, 12, 13] efekt Donnana z wykorzystaniem EWP, powstałej w skutek obciążenia zmęczeniowego metali pokrytych tworzywami sztucznymi, a pracującymi w otoczeniu pary wodnej, będzie wpływał korzystnie na powstawanie powłok antywodorowych. Sam mechanizm powstawania powłok antywodorowych spowoduje wytworzenie odpowiednich barier Donnana, co wpłynie na podwyższenie trwałości pracującej konstrukcji. Według autorów model zjawiska Donnana o polaryzacji dodatniej i ujemnej przedstawiać się będzie jak pokazano na rysunkach 12-13.



Rys. 12. Zjawisko Donnana dla EWP o polaryzacji dodatniej, BD – bariera Donnana



Rys. 13. Zjawisko Donnana dla EWP o polaryzacji ujemnej, BD – bariera Donnana

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań własnych oraz analizowanej literatury o zawartości wodoru w obszarze szczeliny zmęczeniowej metali niepowlekanych pracujących zmiennie jednoznacznie sugerują, że źródłem wnikającego wodoru jest otaczające powietrze. Ilości cząsteczkowego wodoru w powietrzu są tak znikome, że przede wszystkim za ten proces odpowiada para wodna. Na niepowlekanym metalu istnieje EWP o ujemnej polaryzacji, która sprzyja procesowi wnikania wodoru, szczególnie na powierzchniach uskoków, mikroszczelin i szczelin zmęczeniowych w trakcie pracy metalu.

W referacie zaproponowano wykorzystanie zjawiska Donnana znane dla polimerów stosowanych jako powłoki na metalach. Powłoki te nie są jednak szczelne. Posiadają pory i kanaliki, przez które może odbywać się transport różnych substancji. Zjawisko Donnana zostało stwierdzone z wykorzystaniem substancji ciekłych (woda, roztwory). W tym miejscu należy podkreślić fakt powstawania tzw. bariery Donnana, która zabezpiecza poprzez powstające pole elektrostatyczne wnikanie w głąb warstwy powłoki różnych polarnych cząstek na zasadzie odpychania lub przyciągania ładunków elektrycznych. Sugeruje się, że podobnie jak dla cieczy zjawisko to zachodzić będzie dla substancji gazowych w postaci pary wodnej czy wodoru cząsteczkowego, ponieważ wiele konstrukcji jest narażonych na działanie warunków atmosferycznych. Stąd proponuje się zastąpienie powłok polimerowych powłokami z tworzyw sztucznych o takiej strukturze, aby mogła ona odseparować szczeliny zmęczeniowe od atmosfery i stworzenia bariery Donnana w określonym miejscu. Proponowana koncepcja wymaga badań zasadniczych, które są przewidziane, a wyniki tych badań będą prezentowane.

LITERATURA

- [1] Skinner S., Savage R., Rutzler J., *Electrical phenomena in adhesion electron atmospheres in dielectrics*, [in:] Journal of Applied Physics, Vol. 24, No. 4, 1953, p. 438-450.
- [2] Skinner S., Savage R., Rutzler J., *Electrical phenomena in adhesion electron atmospheres in dielectrics*, [in:] Journal of Applied Physics, Vol. 25, No. 8, 1955, p. 1055-1056.
- [3] Jarguliński W., *Pole elektrostatyczne a wytrzymałość metali*, Oficyna Wydawnicza WSOWL, Wrocław 2006.
- [4] Struczkow W., Jaworski W., *Zagadnienia współczesnej fizyki*. WSiP, Warszawa 1986.
- [5] Jamroziak K., Jargulinski W., *Fatigue life forecasting of modern constructional materials with the use of electric double layer*, [in:] 9th International Conference, Computer Aided Engineering 2008, Opencast Mining, Issue 4-5, 2008, p. 148-151.
- [6] Kocańda D., Kocańda S., Mierzwiński J., Łunarska A., *O możliwej przyczynie charakterystycznego rozwoju krótkich pęknięć zmęczeniowych w stopie tytanu WT3-1*, [w:] IX Konferencja Mechaniki Pękania, Kielce 2003, s. 261-268.
- [7] Waynman A., *Modern state of the problem of hydrogen embrittlement of metal of TPP thermo-mechanical equipment of pre-and overcritical parameters*, [in:] 3rd International Conference "Fracture mechanics of materials and structural integrity" Lviv 2004, p. 445-456.
- [8] Panasiuk V. i inni, *Influence of hydrogen-containing environments on fatigue crack extension resistance of metals*, [in:] Wybrani Praci 1991-2001, Narodna Akademia Nauk Ukrainy, Fizyko-Chemiczna Mechanika Materiałów, Lviv 2001, p. 258-296.
- [9] Szata M., *Description of development of fatigue cracking in energetic approach*, Monograph, University of Technology, Wrocław 2000.
- [10] Adamsom A.W., *Chemia fizyczna powierzchni*, PWN, Warszawa 1963.
- [11] Zaborski S., *Elektrochemiczna intensyfikacja obróbki ścierniej materiałów trudno obrabialnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
- [12] Szata M., *Description of crack propagation - theoretical approach and fitting accuracy to measurement results*, [in:] Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. 6, No. 1, 2006, p. 47-63.
- [13] Wolarek Z., *Wnikanie, transport i absorpcja wodoru przez azotowane żelazo*, Polska Akademia Nauk, Instytut Chemii Fizycznej, Praca doktorska, Warszawa 2007.

ANTI-HYDROGEN COATS ON METALS

Summary

The paper contains suggestions on how to use coatings made of plastics in order to minimize the penetration of hydrogen into metals. Following an analysis of literature as well as the

POWŁOKI ANTYWODOROWE NA METALACH

authors' own research, the hydriding process of metals is discussed. On the basis of the Donnan law, its effect on forward and reverse bias coats is presented. By employing the law, a concept of a solution to increase the fatigue life of metals in order to prevent fatigue cracks is put forward.

Artykuł recenzował: dr hab. inż. Tadeusz SMOLNICKI, prof. PWr.