

Bronisław Buczek

Katedra Chemii i Kinetyki Procesów

Natura powierzchni węgla aktywnego utlenianego w fazie gazowej

1. Wprowadzenie

Znanych jest wiele sposobów prowadzących do zwiększenia ilości tlenu związanego chemicznie z powierzchnią węgla aktywnych w postaci różnego rodzaju grup funkcyjnych. Sposoby te można podzielić na procesy utleniania w fazie gazowej (utleniaczami są wtedy gazy, np. tlen, ozon, tlenki azotu) [1] oraz utleniania w fazie ciekłej (w takim przypadku wykorzystuje się wodne roztwory substancji nieorganicznych, głównie kwasów, soli lub zasad) [2, 5].

Pierwsze systematyczne badania nad utlenianiem adsorbentów węglowych przeprowadzono blisko 70 lat temu. Wynika z nich, że aktywowany węgiel drzewny łagodnie utleniony w temperaturze 500–900°C w strumieniu powietrza lub mieszaniny tlenu i azotu zmienia swoje właściwości fizyczne i adsorpcyjne. W zależności od temperatury prowadzenia procesu i stężenia tlenu w gazie utleniającym zmienia się stopień przereagowania węgla i uzyskuje się produkty o różnej powierzchni właściwej. Utlenianie węgla aktywnego czystym tlenem istotnie zwiększa szybkość tej reakcji. W temperaturach 250–1000°C powierzchnia węgla utlenia się bardzo szybko z wydzieleniem tlenku i dwutlenku węgla. W tych warunkach następuje rozrywanie powierzchniowych wiązań węgiel–węgiel i wbudowanie atomów tlenu w warstwę powierzchniową, równocześnie wielkość wypału węgla rośnie wraz ze wzrostem temperatury prowadzenia procesu.

Badania nad utlenianiem węgla aktywnych w fazie gazowej dowodzą ścisłego związku pomiędzy temperaturą utleniania i właściwościami kwasowo-zasadowymi powierzchni węgla, a ściślej, obecnością kwasowych lub zasadowych tlenków powierzchniowych. Ze wzrostem temperatury utleniania węgla zwiększają się jego

właściwości kwasowe, osiągając maksimum w temperaturze utleniania ok. 400°C. Sorpcja kwasów przez węgiel utleniony w takiej temperaturze jest pomijalnie mała, zaś sorpcja zasad – maksymalna. Wzrost temperatury utleniania prowadzi do zmniejszenia właściwości kwasowych i wzrostu właściwości zasadowych węgla. Sorpcja kwasów osiąga maksimum przy temperaturze utleniania ok. 850°C, natomiast sorpcja wodorotlenku sodu maleje do zera. Ze wzrostem temperatury procesu powierzchnia właściwa początkowo szybko rośnie, by po osiągnięciu maksimum w temperaturze 800°C zmniejszyć się, nie więcej jednak niż o 33%.

Optymalną temperaturą procesu otrzymywania węgla o właściwościach kwasowych za pomocą utleniania tlenem jest temperatura 400–450°C. Na powierzchni węgla z dużą wydajnością powstają wówczas tlenowe grupy funkcyjne: fenolowe, karboksylowe, laktonowe, karbonylowe, chinonowe i pseudochinonowe [1,17], a szybkość wypału węgla nie przekracza 0,5% masy próbki w ciągu 1 minuty. Ze wzrostem temperatury maleje wydajność powstawania kwasowych tlenowych grup funkcyjnych, a szybkość ubytku masy rośnie wykładniczo.

Utlenianie węgla w fazie gazowej można również prowadzić za pomocą innych mediów utleniających, przy czym zmiany właściwości kwasowo-zasadowych otrzymanych preparatów w zależności od temperatury reakcji są takie same jak w wypadku utleniania tlenem lub mieszaninami tlenu i gazu obojętnego. Różny jest tylko stopień utlenienia próbki możliwy do osiągnięcia dla danego czynnika utleniającego.

Karbonizacja lub aktywacja węgla aktywnego dwutlenkiem węgla w temperaturze 400–600°C oraz aktywacja parą wodną w temperaturze 400–500°C prowadzi do powstania na powierzchni węgla kwasowych tlenowych grup funkcyjnych, przede wszystkim karbonylowych i hydroksylowych [18, 19]. Badania widm w podczerwieni specjalnie spreparowanych filmów węglowych wskazują na obecność na powierzchni węgla karbonizowanych lub aktywowanych dwutlenkiem węgla, trwałych termicznie powierzchniowych jonów karboksylowych i węglanowych oraz węglanowych związków koordynacyjnych.

Aktywacja parą wodną lub dwutlenkiem węgla w temperaturach wyższych od 800°C prowadzi do otrzymywania preparatów o właściwościach zasadowych, w pomijalnie małym stopniu sorbujących substancje o charakterze zasadowym [15]. Takie same właściwości wykazuje węgiel wygrzewany powyżej 1000°C, a następnie poddany działaniu tlenu w temperaturze nie wyższej od 100°C.

Utlenianie adsorbentów węglowych przy użyciu tlenków azotu pozwala na precyzyjne ustalenie parametrów procesu, poprzez wybór zarówno temperatury reakcji, jak i rodzaju utleniacza. Podtlenek i tlenek azotu są utleniaczami łagodnymi. Ilość tlenu wprowadzona na powierzchnię węgla aktywnego nie jest duża, ale i ubytki masy (stopień wypału) w czasie reakcji są nieznaczące [1, 14].

Bardzo interesującym utleniaczem materiałów węglowych jest ozon [4, 8]. Dzięki silnym właściwościom utleniającym ozonu modyfikacja powierzchni węgla tlenem możliwa jest już w temperaturze -70°C , optymalną zaś temperaturą otrzymywania utlenionego węgla aktywnego o właściwościach kwasowych jest temperatura ok. 25°C . Straty masy próbek podczas ozonowania są nieznaczne: dopiero w temperaturze ponad 80°C proces destrukcji węgla zaczyna odgrywać istotną rolę [1].

Utlenianie powierzchni węgla aktywnego w fazie gazowej jest wygodną i uniwersalną metodą otrzymywania preparatów węglowych o dobrze zdefiniowanej strukturze powierzchniowej tlenowych grup funkcyjnych. Ilość tlenu wprowadzonego na powierzchnię węgla jest wprawdzie niższa w porównaniu z utlenianiem w fazie ciekłej, można jednak uzyskać węgle zarówno o charakterze kwasowym, jak i zasadowym. Powierzchnia utlenionego węgla nie jest przy tym zanieczyszczona ubocznymi produktami reakcji, gdyż w trakcie procesu ulegają one desorpcji. Uzyskiwany preparat węglowy nie musi być poddawany żmudnemu zwykle procesowi oczyszczania i natychmiast po ostudzeniu nadaje się do użycia zgodnie ze swym przeznaczeniem.

2. Część doświadczalna

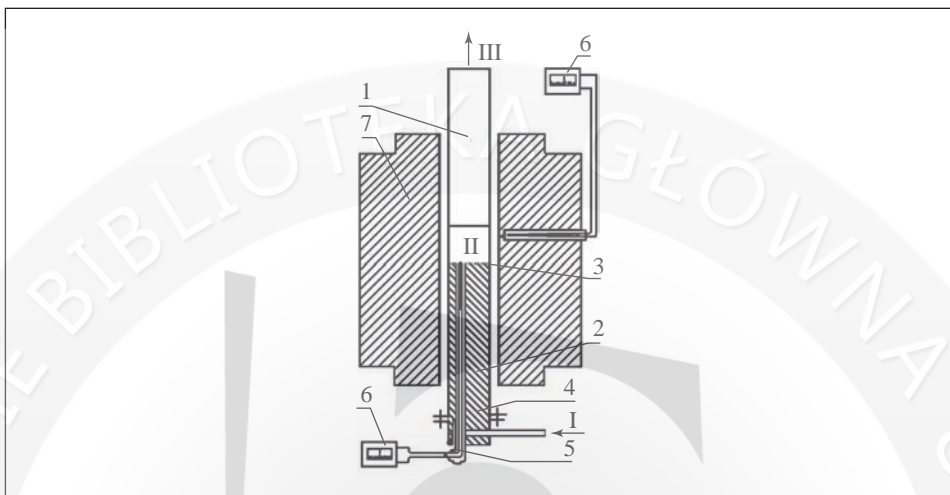
Przedmiotem doświadczeń był węgiel aktywny, otrzymany w procesie przemysłowym przez aktywację parą wodną karbonizatu z węgla kamiennego w temperaturze $850\text{--}900^{\circ}\text{C}$ (oznaczony dalej symbolem W). Węgiel poddawano rozdrabnianiu (do wielkości ziaren $0,5\text{--}1,5\text{ mm}$), demineralizacji, powtórnej karbonizacji i wreszcie utlenianiu.

Karbonizację i utlenianie prowadzono w specjalnie skonstruowanym reaktorze fluidalnym [13]. Aparatura doświadczalna składa się z kolumny fluidalnej wyposażonej w dystrybutor gazu typu „sandwich”, który spełnia równocześnie rolę wstępnego podgrzewacza gazu. W charakterze czynnika fluidyzującego stosowano azot i mieszaniny tlenu w azocie. Do pomiaru temperatury w warstwie fluidalnej służy ruchoma termopara. Jej usunięcie z osłony umożliwia opróżnianie kolumny po przeprowadzeniu procesu, dzięki wykorzystaniu pseudociekłych właściwości warstwy fluidalnej. Ciepło konieczne do prowadzenia procesu dostarcza piec syli-towy, w którym umieszczona jest kolumna fluidalna wraz z dystrybutorem gazu. Schemat aparatury przedstawia rys. 1.

W rezultacie kolejno przeprowadzonych operacji otrzymano preparaty węgla aktywnego oznaczone symbolami:

WO – odpopielony kwasem solnym i fluorowodorowym,

WK – kalcynowany w atmosferze azotu w temperaturze 700°C ,



Rys. 1. Schemat aparatury do aktywacji w warstwie fluidalnej

1 – kolumna fluidalna, 2 – wypełnienie, 3, 4 – dno sitowe, 5 – termopara, 6 – miernik temperatury, 7 – piec silitowy, I – doprowadzenie czynnika fluidyzującego i aktywującego, II – warstwa fluidalna, III – odprowadzenie gazów poreakcyjnych

Źródło: opracowanie własne.

W10 – utleniany 10% mieszaniną tlenu w azocie w temperaturze 350–400°C,
W21 – otrzymywany tą samą metodą jak W10, z tym, że w tym przypadku utleniaczem było powietrze.

3. Dyskusja wyników

Właściwości standardowe

Preparaty węglowe otrzymane na poszczególnych etapach oceniano wykorzystując oznaczenia niektórych standardowych właściwości adsorbentów węglowych według PN-82/C-97555 oraz PN-A-86937 (tabela 1).

Tabela 1. Standardowe właściwości preparatów węgla aktywnego

Preparat	W	WO	WK	W10	W21
Gęstość nasypowa, g/dm ³	383	323	331	324	323
Zawartość wilgoci, %	10,60	2,39	8,39	1,42	1,21
Zawartość popiołu, %	18,38	0,51	0,70	0,31	0,39
pH wyciągu wodnego	11,4	4,7	9,8	8,0	7,6
Liczba metylenowa	29,0	30,5	30,0	34,5	33,5

Źródło: badania własne.

Z danych tych wynika, że na skutek przeprowadzonych modyfikacji wzrasta zdolność adsorpcyjna węgla i zmienia się charakter powierzchni. Usunięcie substancji mineralnej na drodze ługowania kwasami ze struktury porowatej wpłynęło na obniżenie ich gęstości nasypowej. Zmienia się istotnie charakter powierzchni: odczyn wyciągu wodnego dla węgla W jest zdecydowanie zasadowy, zaś preparatu W21 prawie obojętny.

Struktura porowata

W celu scharakteryzowania struktury porowatej wyjściowego węgla aktywnego i otrzymanych preparatów wyznaczono izotermy adsorpcji i desorpcji argonu w temperaturze ciekłego azotu. Pozwoliło to na wyznaczenie objętości mikroporów, objętości i powierzchni mezoporów oraz powierzchni BET według metodyki przedstawionej w pracy [2]. Wyznaczono również gęstości węgla i preparatów: pozorną – metodą rtęciową i rzeczywistą – metodą helową. Wielkości te wykorzystano do obliczenia całkowitej objętości porów oraz porowatości. Wyniki oznaczeń i obliczeń zawiera tabela 2.

Tabela 2. Struktura porowata preparatów węgla aktywnego

Preparat	W	WO	WK	W10	W21
Objętość mikroporów, cm^3/g	0,408	0,397	0,429	0,444	0,438
Objętość mezoporów, cm^3/g	0,040	0,036	0,041	0,049	0,048
Powierzchnia mezoporów, m^2/g	36,4	30,0	34,0	39,8	39,2
Powierzchnia BET, m^2/g	1088	1042	1125	1160	1142
Gęstość rzeczywista, g/cm^3	2,120	2,106	2,171	2,129	2,131
Gęstość pozorna, g/cm^3	0,777	0,662	0,645	0,625	0,636
Całkowita objętość porów, cm^3/g	0,815	1,036	1,090	1,130	1,103
Porowatość, cm^3/cm^3	0,633	0,686	0,703	0,706	0,701

Źródło: badania własne.

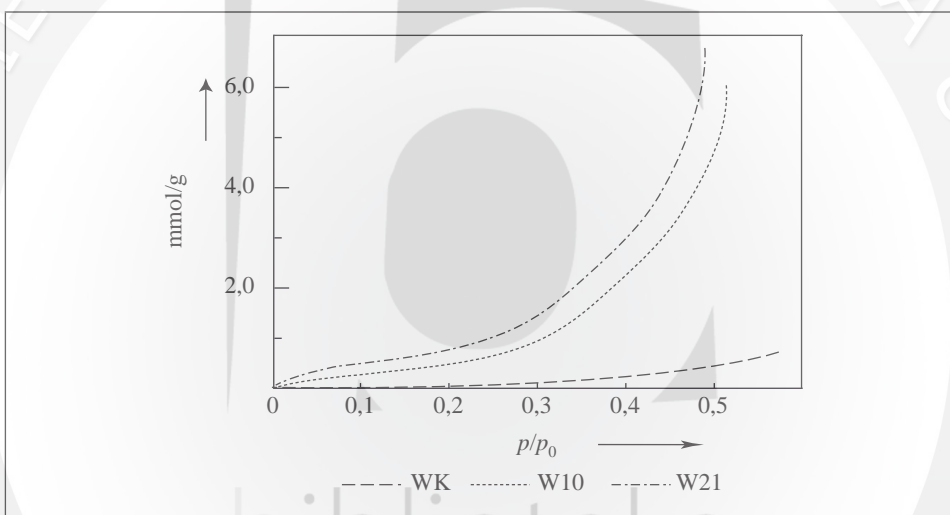
Analiza tekstury preparatów wskazuje na jej dobre rozwinięcie w zakresie mikro- i mezoporów. W wypadku preparatu uzyskanego przez odpopalenie kwasami zaobserwowano niewielki spadek objętości obu typów porów w porównaniu z węglem wyjściowym. Proces kalcynacji prowadzi do zwiększenia objętości wszystkich rodzajów porów w porównaniu z węglem W. Dalsze rozwinięcie struktury porowatej powoduje utlenianie, chociaż jest ono większe dla preparatu W10 niż dla W21.

O właściwościach węgla aktywnego decyduje nie tylko jego porowata struktura, ale również skład chemiczny i budowa warstwy powierzchniowej [6, 16].

Do oceny charakteru powierzchni preparatów węglowych wykorzystano wyniki badań sorpcji pary wodnej, analizę termogravimetryczną oraz miareczkowanie potencjometryczne.

Adsorpcja pary wodnej

Izotermy sorpcji wody wyznaczono przy użyciu mikrobiuretek cieczowych [12]. Pomiary przeprowadzono w temperaturze 25°C w zakresie ciśnień względnych $p/p_0 = 0,05-0,5$. Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Izotermy adsorpcji H_2O na preparatach WK, W10 i W21

Źródło: badania własne.

Analizowano izotermy sorpcji wody w początkowym ich zakresie, stosując równanie zaproponowane w pracy [7]. Jej autor zakłada, że na powierzchni węgla aktywnego występują pierwotne centra adsorpcyjne w postaci ugrupowań tlenowych, które są zdolne do przyłączania cząsteczek wody za pomocą wiązania wodorowego. Równanie to posłużyło do wyznaczenia ilości centrów adsorpcyjnych (tlenowych grup funkcyjnych) a_0 , liczby tlenowych grup funkcyjnych przypadających na 1 m^2 preparatu n , średniej powierzchni zajmowanej przez jedną molekułę adsorbowanej wody d_0 oraz średniej odległości pomiędzy dwiema grupami tlenowymi d . Wyniki obliczeń zawiera tabela 3.

Tabela 3. Parametry określające stopień utlenienia preparatów

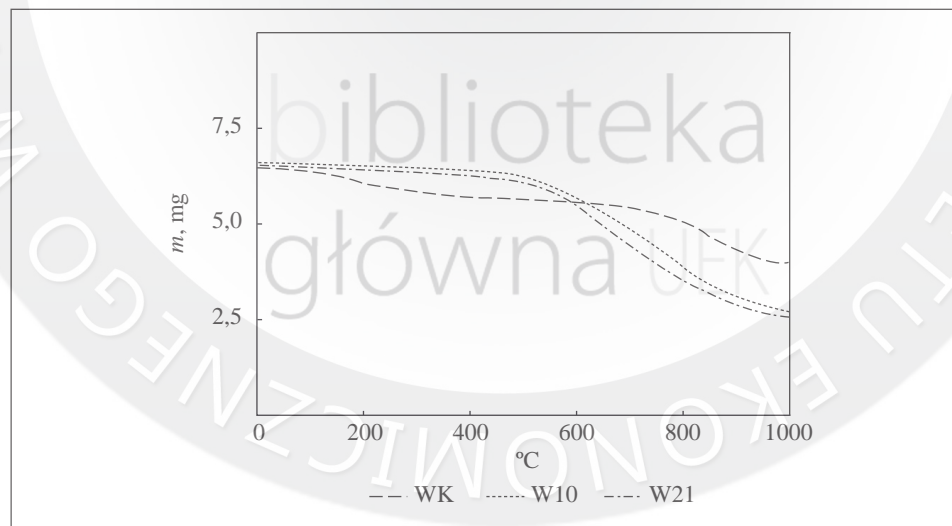
Preparat	a_o mmol/g	$n \cdot 10^{-17}$ 1/m ²	d_o nm ²	d nm
WK	0,59	3,15	3,19	3,58
W10	0,95	4,93	2,03	1,61
W21	1,29	6,80	1,47	1,37

Źródło: badania własne.

Z danych zamieszczonych w tabeli wynika, że hydrofilowość powierzchni jest tym większa, im wyższe było stężenie tlenu w mieszaninie utleniającej. Najwyższe stężenie tlenowych grup funkcyjnych przypadających na jednostkę powierzchni wykazuje preparat W21. Co za tym idzie, powierzchnia zajmowana przez tlenową grupę oraz odległość pomiędzy sąsiednimi grupami są najmniejsze.

Analiza termiczna

Analizę termogravimetryczną i gazowych produktów rozkładu preparatów wykonano za pomocą uniwersalnego analizatora (Mettler) z kwadrupolowym spektrometrem masowym typu QMG 101 (Balzers) w zakresie temperatur 25–1000°C. Do oceny chemicznego charakteru powierzchni preparatów wykorzystywano krzywe ubytku masy w zależności od temperatury (rys. 3). Na podstawie analizy



Rys. 3. Krzywe TG ubytku masy w zależności od temperatury preparatów WK, W10 i W21

Źródło: badania własne.

składu produktów gazowych przyjęto, podobnie jak w pracy [16], że w temperaturze 180°C kończy się wydzielanie pary wodnej, a w temperaturze 700°C kończy się wydzielanie dwutlenku węgla i zaczyna wydzielanie tlenku węgla. Ten pierwszy powstaje głównie w wyniku rozpadu tlenowych grup funkcyjnych o charakterze kwasowym, zaś drugi z rozpadu grup o charakterze zasadowym. Obecność grup eterowych i karbonylowych na powierzchni węgla aktywnego utlenianego powietrzem potwierdzono metodą spektroskopii FTIR [2, 17]. Wyniki analizy termogravimetrycznej przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Ubytek masy preparatów obliczony z krzywych TG

Preparat	Ubytek masy w różnych zakresach temperatur, % wag.			
	25–180°C	180–700°C	700–1000°C	180–1000°C
WK	0,53	0,94	2,05	2,99
W10	0,14	2,29	3,30	5,59
W21	0,11	3,10	3,32	6,42

Źródło: badania własne.

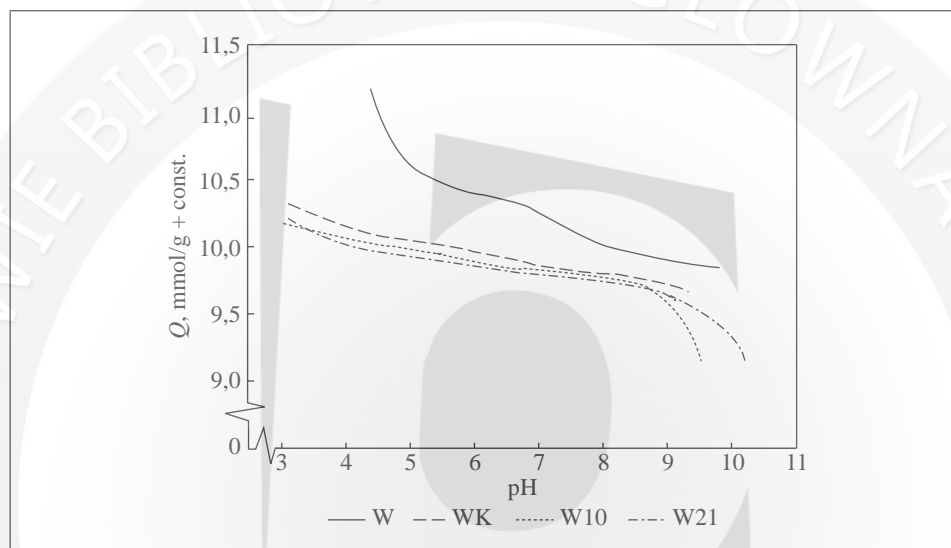
Wyznaczone wartości ubytku masy wykazują, że w wypadku preparatów W10 i W21 ilość wydzielających się produktów jest znacznie większa, niż ma to miejsce dla węgla poddawanego tylko procesowi kalcynacji. Proces utleniania w warstwie fluidalnej prowadzi do powstania tlenowych grup powierzchniowych. Ich liczba zależy od stężenia tlenu w mieszaninie utleniającej. Na podstawie ubytku masy w poszczególnych zakresach temperatur można wyciągnąć wniosek, że chociaż tylko preparat W21 charakteryzuje się porównywalną ilością grup tlenowych o charakterze kwasowym i zasadowym, to węgiel W10 jest do niego zbliżony.

Miareczkowanie potencjometryczne

Pomiary wykonano za pomocą aparatu 665 Dosimat połączonego z pH-metrem Accumet wyposażonym w elektrodę szklaną. Jako titranty stosowano 0,1M roztwory NaOH oraz HNO₃. Miareczkowanie przeprowadzono w zakresie wartości pH 3 do 11. Krzywe miareczkowe przekształcone zostały do postaci izoterm wiązania protonu Q(pH) na podstawie równania bilansu protonu [5, 10]. Izotermi badanych preparatów przedstawiono na rys. 4.

Względnie wysoką sorpcję zaobserwowano dla węgla W, zawierającego dużą ilość substancji nieorganicznej, która to istotnie zwiększa jego powinowactwo do protonu. Po usunięciu substancji nieorganicznej (odpopielenie) oraz w wyniku kalcynacji preparat WK uzyskał typowy kształt izotermi charakterystyczny dla węgla o obojętnym charakterze powierzchni. Utlenianie mieszaniną azotu o różnej zawartości tlenu skutkuje podobnym kształtem i przebiegiem izoterm.

Więcej informacji o chemicznej niejednorodności powierzchni można uzyskać ze znajomości funkcji rozkładu powinowactwa powierzchni do protonów. Rysunek 5 przedstawia zmianę kwasowości powierzchni spowodowaną umiarkowanym utlenianiem w fazie gazowej.



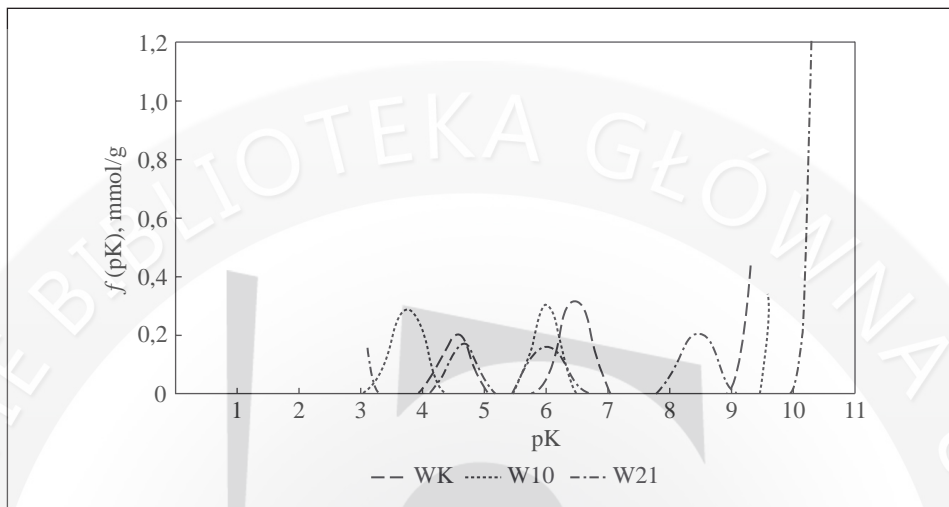
Rys. 4. Izotermę wiązania protonu na węglu aktywnym W oraz preparatach WK, W10 i W21

Źródło: [5].

Preparat węgla aktywnego WK wykazuje bimodalny rozkład w zakresie badanych wielkości pK. Kiedy zawartość tlenu zwiększa się w mieszaninie utleniającej, rozkład grup staje się bardziej skomplikowany. Na powierzchni preparatu W10 można zidentyfikować jedynie grupy karboksylowe, podczas gdy bardziej intensywne utlenianie (21% O_2) prowadzi do powstania grup fenolowych (pik dla $pK = 8,45$) [11]. Równie interesujący jest fakt, że intensywne utlenianie prowadzi do powstania grup powyżej $pK = 10$ oraz pojawiają się grupy karboksylowe o pK niższym od 3 [5].

4. Podsumowanie

Sposób utleniania powierzchni węgla aktywnego w warstwie fluidalnej przy użyciu zawierających tlen mieszanin daje możliwość uzyskania preparatów charakteryzujących się zróżnicowaną zawartością tlenowych grup funkcyjnych o charakterze kwasowym i zasadowym.



Rys. 5. Rozkłady wartości pK dla preparatów WK, W10 i W21

Źródło: [5].

Zastosowane sposoby oceny charakteru powierzchni (sorpcja wody, analiza termiczna, miareczkowanie potencjometryczne) wskazują na istotny udział grup tlenowych na powierzchni węgla aktywnego utlenianego mieszaninami tlenu i azotu.

Jeszcze bardziej szczegółową analizę rodzaju i liczności grup tlenowych powstających w procesach utleniania w fazie ciekłej i gazowej można przeprowadzić, wykorzystując metodę, która wiąże wyniki badań sorpcyjnych i rentgenowskiej spektroskopii elektronowej [9].

Wykazano [3], że otrzymany drogą utleniania w fazie gazowej nośnik węglowy np. dla katalizatorów metalicznych charakteryzuje się bardzo dobrze rozwiniętą strukturą porowatą przy nieznacznym stopniu przereagowania (wypału) w przeciwieństwie do nośników utlenianych kwasami w fazie ciekłej.

Literatura

- [1] *Adsorpcja jonów na węglu aktywnym*, H. Jankowska, A. Świątkowski, L. Starostin, J. Ławrinienko-Omiecyńska, PWN, Warszawa 1991.
- [2] Buczek B., *Ocena charakteru powierzchni utlenianych porowatych materiałów węglowych*, Zeszyty Naukowe AE w Krakowie, Kraków 2003.
- [3] Buczek B., Grzybek T., Żmuda A., *Nowy materiał katalityczny do oczyszczania gazów odlotowych*, „Karbo–Energia–Ekologia” 1997, nr 3.

- [4] Chiang H.L., Huang C.P., Chiang P.C., *The Surface Characteristics of Activated Carbon as Affected by Ozone and Alkaline Treatment*, „Chemosphere” 2002, vol. 47.
- [5] *The Determination of Surface Changes in Active Carbons by Potentiometric Titration and Water Vapour Adsorption*, T.J. Bandosz, B. Buczek, T. Grzybek, J. Jagiełło, „Fuel” 1997, vol. 76.
- [6] Dubinin M.M., *Adsorption Properties and Microporous Structures of Carbonaceous Adsorbent*, „Carbon” 1987, vol. 25.
- [7] Dubinin M.M., *Water Vapour Adsorption and the Microporous Structures of Carbonaceous Adsorbent*, „Carbon” 1980, vol. 18.
- [8] *Effect of Ozone Treatment on Surface Properties of Activated Carbon*, H. Valdes, M. Sanchez-Polo, J. Rivera-Utrilla, C.A. Zaror, „Langmuir” 2002, vol. 18.
- [9] Grzybek T., *The Determination of Oxygen-containing Groups on the Surface of Carbonaceous Materials by XPS and H₂O Adsorption Methods*, „Polish Journal of Chemistry” 1994, vol. 68.
- [10] Jagiełło J., *Stable Numerical Solution the Adsorption Integral Equation Using Splines*, „Langmuir” 1994, vol. 10.
- [11] Kortum G., Vogel W., Andrusow K., *Dissociation Constants of Acids in Aqueous Solutions*, Butterworth, London 1961.
- [12] Lasoń M., Żyła M., *Aparatura do wyznaczania izoterm sorpcji i desorpcji par metodą mikrobiuretek*, „Chemia Analityczna” 1963, nr 8.
- [13] *Modyfikacja struktury adsorbentu mineralno-węglowego w warstwie fluidalnej*, B. Buczek, A. Czaplinski, L. Czepirski, M. Rutkowski, „Nafta” 1980, nr 36.
- [14] *Reaction of NO with Carbonaceous Materials*, J. Yang, G. Mestl, D. Herein, R. Schlogl, J. Find, „Carbon” 2000, vol. 39.
- [15] Rozwadowski M., Siedlewski J., *Wpływ tlenków powierzchniowych węgla aktywnych na sorpcję NH₃*, „Chemia Stosowana” 1972, nr 16.
- [16] Siedlewski J., Śmigiel W., *Zastosowanie analizy termogravimetrycznej w badaniach charakteru chemicznego powierzchni węgla aktywowanych*, „Chemia Stosowana” 1976, vol. 20.
- [17] *A Study of Carbonaceous Char Oxidation in Air by Semi-quantitative FTIR Spectroscopy*, A. Koch, A. Krztoń, G. Fingueneisel, O. Heintz, J.V. Weber, T. Zimny, „Fuel” 1998, vol. 77.
- [18] Zawadzki J., *Badania powierzchniowych grup funkcyjnych węgla metodą spektroskopii w podczerwieni*, „Chemia Stosowana” 1979, nr 23.
- [19] Zawadzki J., *Infrared Spectroscopy in Surface Chemistry of Carbons* [w:] *Chemistry and Physics of Carbon*, P.A. Thrower (ed.), vol. 21, New York, Dekker 1989.

The Nature of Active Carbon Surface Oxidized in the Gaseous Phase

The methods aiming to increase the amount of oxygen chemically bonded to the surface of carbon materials can be divided into gaseous phase oxidation processes (then, such gases as oxygen, ozone, nitric oxides are the oxidizers) and liquid phase oxidation

processes (in that case aqueous solutions of inorganic substances, mainly acids, salts or bases, are used).

The research work included the modification of the surface of type N active carbon by removing ash with acids (HCl and HF) and carbonization at 700°C; then it was oxidized with oxygen mixtures (10% and 21%) at 350–400°C in the fluidized bed. The amount and type of the surface oxygen groups were determined on the basis of water adsorption isotherms, thermogravimetric analysis and potentiometric titration.

The method of oxidizing the surface of active carbon using the gas mixtures containing oxygen makes it possible to obtain samples with varied content of oxygen functional groups, both acidic and basic in character.



biblioteka
główna UEK