

Katalizatory ciągu syntezy amoniaku, produkowane w Azotach Tarnów

Piotr BARAN, Edyta KLEMPKA – Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościcach S.A.; Paweł KOWALIK, Katarzyna ANTONIAK – Instytut Nawozów Sztucznych w Puławach

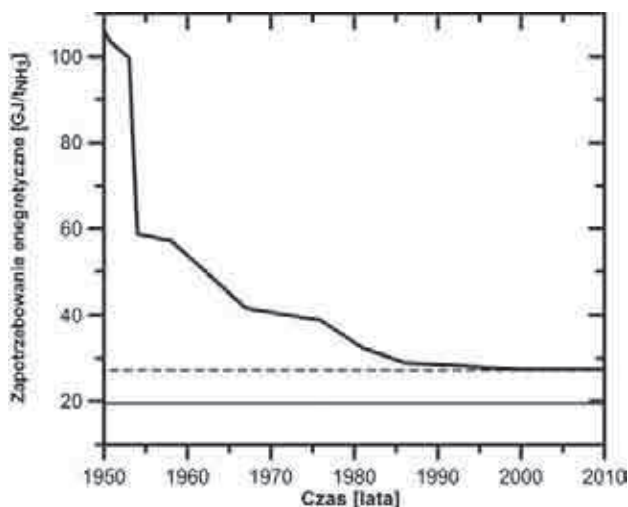
Prosimy cytować jako: CHEMIK 2012, 66, 10, 1103-1112

Wstęp

Dynamiczny rozwój technologiczny prowadzący do radykalnego zwiększenia efektywności produkcji podstawowych dóbr, np. żywności, nośników energii, leków; i zaspokojenie potrzeb ludzkości w tym zakresie, nie byłby możliwy bez postępu w dziedzinie technologii chemicznej, a także katalizy przemysłowej. Przykładem pokazującym duże znaczenie katalizy stosowanej są procesy produkcji gazów syntezowych na potrzeby otrzymywania amoniaku, metanolu i paliw syntezowych. Dotyczy to szczególnie syntezy amoniaku, gdyż proces ten jest bardzo energochłonny, a jego realizacja nie byłaby możliwa bez udziału katalizatora. Synteza amoniaku wymaga także pozyskania gazu syntezowego o dużej czystości, co uzyskuje się przetwarzając surowiec (gaz ziemny, węgiel, gazy resztkowe z przerobu ropy naftowej) w szeregu procesów katalitycznych.

Ze względu na uwarunkowania geograficzne i dostępność zasobów surowcowych w Europie, amoniak otrzymuje się przede wszystkim z gazu ziemnego, a technologia otrzymywania amoniaku obejmuje następujące procesy katalityczne:

- głębokie oczyszczanie surowca z niepożądanych substancji (szczególnie związków siarki oraz związków chloru) poprzez katalityczne uwodornienie i sorpcję na selektywnych sorbentach
- pozyskanie surowego gazu procesowego o wysokiej zawartości wodoru i tlenków węgla w procesach parowego reformingu
- korekta składu gazu procesowego, polegająca na wzbogaceniu w wodór i osiągnięciu stechiometrycznego stosunku molowego $N/H=3$
- finalna korekta składu gazu procesowego – katalityczna metanizacja CO_x – pozyskanie gazu syntezowego
- synteza amoniaku.



Rys. 1. Postęp efektywności energetycznej w wytwórniach amoniaku [2]

Rozwiązania inżynierskie w obrębie poszczególnych etapów, zastosowane w starszych i nowoczesnych wytwórniach amoniaku (o bardzo dużych zdolnościach produkcyjnych), znacząco się róż-

nią. Na przestrzeni ostatnich dekad dokonał się duży postęp w wielu kluczowych obszarach, np. technologii procesów parowego reformingu, inżynierii reaktorów syntezy amoniaku oraz stosowanych katalizatorów [1]. Umożliwiło to radykalne zwiększenie wydajności wytwórni amoniaku i jednocześnie obniżenie energochłonności jego wytwarzania (Rys. 1). Obecnie największa wytwórnia amoniaku na świecie produkuje 3300 t/dobę przy zapotrzebowaniu energetycznym poniżej 29 GJ/MT NH_3 [2], gdzie teoretyczne minimum wynosi około 20 GJ/MT NH_3 .

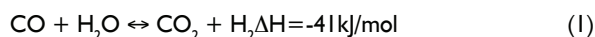
Radykalne zmniejszenie energochłonności wytwarzania amoniaku osiągnięto m.in. przez wprowadzenie do ciągu technologicznego nowych procesów katalitycznych i stałe doskonalenie katalizatorów w nich stosowanych. W Polsce jednostkami wiodącymi w rozwijaniu technologii i produkcji katalizatorów ciągu amoniakalnego są puławski Instytut Nawozów Sztucznych (INS) i Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościcach SA. Wieloletnia współpraca Azotów Tarnów z uczelniami (Politechniką Szczecińską, Politechniką Warszawską) oraz jednostkami naukowymi (głównie INS) dała w rezultacie opracowanie oryginalnych technologii otrzymywania katalizatorów przemysłowych do parowej konwersji CO, syntezy amoniaku oraz syntezy metanolu. Wymienione katalizatory są od wielu lat eksploatowane we wszystkich fabrykach amoniaku w Polsce, a także cieszą się wysoką renomą wśród odbiorców zagranicznych.

Katalizatory stosowane w ciągu amoniakalnym

Zapewnienie odpowiednio wysokiego stopnia oczyszczenia surowca (do nie więcej niż 0,01 ppmv S i 20 ppbv Cl [3]) jest warunkiem koniecznym do zapewnienia efektywnej pracy wytwórni amoniaku. Rozwiązaniem stosowanym najczęściej jest usuwanie H_2S przez sorpcję na sorbencie cynkowym (aktywnym ZnO), poprzedzoną uwodornieniem organicznych związków siarki na katalizatorach hydroodsiarczania HDS typu Ni-Mo lub Co-Mo [4, 5]. Stosowane katalizatory i sorbenty do węzła oczyszczania gazu ziemnego zostały opracowane w INS, który jest także ich producentem [6].

W wytwórniach amoniaku z gazu ziemnego, surowy gaz procesowy produkowany jest zwykle w procesach parowego reformingu. Istnieje kilka jego wariantów [7, 8], a we wszystkich wykorzystywane są katalizatory niklowe o parametrach dostosowanych do określonych warunków eksploatacyjnych. Technologie i katalizatory parowego reformingu od wielu lat są rozwijane w INS, który oferuje pięć wersji katalizatorów, różniących się formą, wielkością kształtek i składem chemicznym [6, 9].

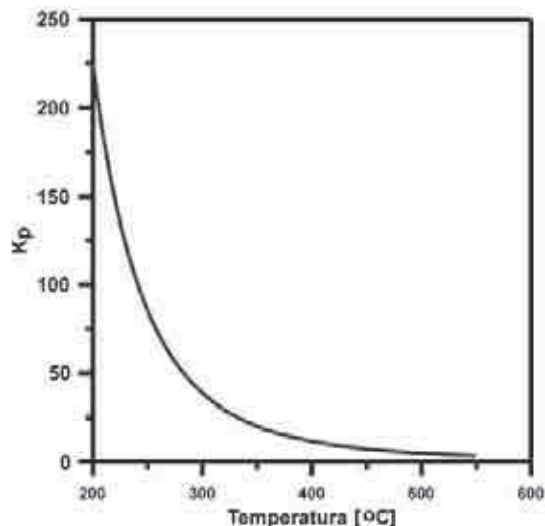
Dalszy przerób gazu procesowego polega na parowej konwersji CO w myśl reakcji (1). Pozwala on na zwiększanie udziału wodoru poprzez częściowe lub niemal całkowite (w zależności od parametrów procesu) usunięcie tlenku węgla z gazu procesowego i osiągnięcie odpowiedniego stosunku N_2/H_2 w gazie syntezowym.



Reakcja parowej konwersji jest odwracalna, słabo egzotermiczna i zachodząca bez zmiany objętości [10]. Wysokiemu stopniowi przemia-

ny sprzyja niska temperatura i nadmiar pary wodnej. W wytwórniach amoniaku, z uwagi na ograniczenia równowagowe (Rys. 2), proces prowadzony jest w dwóch zakresach temperaturowych w szeregowo połączonych jedno- lub wielozłożowych reaktorach adiabatywnych pod ciśnieniem w zakresie do 7MPa:

- (320-450°C) etap wysokotemperaturowy, gdzie następuje zasadnicze zmniejszenie zawartości CO (zwykle do 2-3%), (WTKCO)
- (180-240°C) etap niskotemperaturowy, gdzie osiąga się zmniejszenie zawartości tlenu węgla do poziomu 0.1-0.3%, (NTKCO).



Rys. 2. Zależność stałej równowagi parowej konwersji CO od temperatury

Z wymienionych względów parowa konwersja tlenu węgla w wytwórni amoniaku wymaga zastosowania dwóch typów katalizatorów o zoptymalizowanych właściwościach. Przemysłowe katalizatory WTKCO mają zwykle formę tabletek o średnicy zastępczej do 10 mm. W skład typowego katalizatora WTKCO wchodzi:

- Fe₂O₃ (80–95% wag.) – który w reaktorze przemysłowym jest częściowo zredukowany do Fe₃O₄ będącego aktywnym składnikiem katalizatora
- Cr₂O₃ (5–15% wag.) – który pełni rolę promotora strukturalnego i aktywatora
- CuO (1-5% wag.) – po redukcji do Cu pełni rolę aktywatora oraz inhibitora reakcji ubocznych.

Katalizator może zawierać pewną ilość siarki, przez co może być jej źródłem i zanieczyszczać gaz procesowy. Przed właściwą eksploatacją konieczne jest zatem odsiarczenie katalizatora. Katalizatory WTKCO są mało wrażliwe na trucizny, a główną przyczyną ich stopniowej dezaktywacji jest czynnik temperaturowy, wywołujący niekorzystne zmiany struktury (spiekanie).

Konwencjonalny katalizator NTKCO składa się z 3 zasadniczych komponentów:

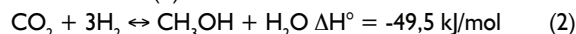
- CuO (20-60% wag.) – prekursor fazy aktywnej miedzi
- ZnO (15-60% wag.) – wpływa na aktywność miedzi oraz pełni funkcję ochronną
- Al₂O₃ (10-40% wag.) – nadaje odpowiednią strukturę porowatą i zwiększa termostabilność katalizatora.

Miedź wykazuje wysoką aktywność w reakcji konwersji tlenu węgla z parą wodną w obszarze niskich temperatur, dlatego też jest podstawowym składnikiem katalizatora NTKCO. Wyższą aktywność w porównaniu z czystą miedzią wykazują jej połączenia z trudno redukowanymi tlenkami, np. ZnO i Al₂O₃. Natura składnika aktywnego w procesie NTKCO jest złożona [11, 12]. Dominuje teza, że reakcja parowej konwersji CO przebiega na całkowicie zredukowanej miedzi Cu, gdyż obserwuje się ścisłą zależność pomiędzy rozwinięciem powierzchni aktywnej miedzi a aktywnością katalizatora [13, 14]. Do uzyskania miedzi w stanie wysokiej dyspersji

dąży się w trakcie preparatyki, której warunki i sposób prowadzenia w bardzo dużym stopniu decydują o jakości katalizatora. Proces ten obejmuje trzy etapy:

1. otrzymanie prekursora materiału katalitycznego metodą współstrącania
2. formowanie prekursora i rozkład termiczny prekursora do tlenkowej formy katalizatora
3. redukcja formy tlenkowej katalizatora w reaktorze przemysłowym.

Katalizatory NTKCO są podatne na rekrytalizację termiczną i zatrucie substancjami mogącymi występować w gazie procesowym, np. HCl, H₂S. Metaliczna miedź w stanie wysokiej dyspersji wykazuje silne właściwości katalityczne w syntezie metanolu. Z tego względu, procesowi parowej konwersji CO na katalizatorze Cu/ZnO/Al₂O₃ towarzyszy reakcja uboczna i generowana jest pewna ilość metanolu (2).



Jest to proces niepożądany, gdyż przebiega z konsumpcją wodoru. Wylimowanie problemu metanolu na etapie NTKCO można osiągnąć poprzez zmiany technologiczne, co zwykle jest trudne do osiągnięcia. Korzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie odpowiedniego katalizatora NTKCO o wysokiej selektywności.

W świetle powyższego, wysokiej jakości katalizator WTKCO lub NTKCO powinien cechować się następującymi parametrami: wykazywać wysoką aktywność w obszarze niskich temperatur, mieć wysoką i stabilną wytrzymałość mechaniczną oraz zoptymalizowaną formę kształtek, a w konsekwencji niskie opory przepływu złoża. Dodatkowo katalizator:

- WTKCO powinien mieć niską zawartość siarki i Cr(VI) oraz cechować się wysoką selektywnością przy jak najniższej zawartości pary wodnej w gazie procesowym
- NTKCO powinien być zoptymalizowany w aspekcie ograniczenia ilości generowanego metanolu.

Ostatnim etapem przygotowania gazu syntezowego w wytwórni amoniaku jest katalityczna metanizacja tlenków węgla. Proces prowadzony jest w zakresie temperatur 200-450°C na katalizatorze Ni-Al. Jego czynnikiem aktywnym jest metaliczny nikiel [15], tlenek glinu pełni rolę promotora strukturalnego, zapewnia wysoką termostabilność i wytrzymałość mechaniczną. INS jest autorem technologii, a od ponad 30 lat producentem katalizatora Ni/Al₂O₃ o symbolu handlowym RANG-19 [6].

Katalizator wysokotemperaturowej konwersji tlenu węgla z parą wodną TZC-3/I

Azoty Tarnów są jedynym polskim producentem katalizatorów WTKCO. Początkowo oferowano katalizator WTKCO (TZC-3) oparty na formule Fe-Cr. W latach 90. ub.w. w kooperacji z INS podjęto prace nad modyfikacją katalizatora w aspekcie poprawy aktywności i selektywności, jak również zmniejszenia zawartości siarki. Efektem tych prac jest nowa wersja promotowanego miedzią katalizatora Fe-Cr-Cu (TZC-3/I).

Podstawowym składnikiem katalizatora TZC-3/I jest stabilizowany tlenkiem chromu i promotowany miedzią hematyt (Fe₂O₃), który w warunkach procesu ulega częściowej redukcji do mieszaniny tlenków żelaza. Katalizator cechuje się wysokim rozwinięciem powierzchni właściwej (>50 m²/g) i korzystną strukturą porowatą. Pozwala to na uzyskanie wysokiego stopnia wykorzystania powierzchni wewnętrznej.

Dzięki omawianym modyfikacjom formuły katalizatora osiągnięto radykalną poprawę jego jakości, a tym samym szereg korzyści eksploatacyjnych:

- zwiększenie aktywności szczególnie w zakresie niskich temperatur (korzystnym termodynamicznie)
- możliwość eksploatacji przy niższym stosunku para/gaz.

Dodatkowymi zaletami katalizatora TZC-3/I jest bardzo niska zawartość siarki, co eliminuje konieczność prowadzenia osobnej operacji odsiarczania w reaktorze przemysłowym, duża wytrzymałość mechaniczna, niskie i stabilne opory przepływu oraz długi czas eksploatacji, w zależności od warunków nawet ponad 10 lat. Katalizator TZC-3/I jest bardzo odporny na zatrucie, ulega stopniowej dezaktywacji wywołanej w zasadzie jedynie poprzez czynnik temperaturowy, powodujący niekorzystne zmiany struktury katalizatora na skutek spiekania się krystalitów fazy aktywnej. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom użytkowników katalizatorów oraz potrzebie spełnienia wchodzących w życie nowych norm dotyczących zawartości Cr(VI) o właściwościach kancerogennych, wprowadzono modyfikacje technologii otrzymywania katalizatora. W konsekwencji uzyskano zmniejszenie zawartości Cr(VI) w produkcie o ponad 50%.

TZC-3/I ma unikatową formę (Rys. 3). W standardowej wersji oferowany jest w postaci wyoblonych tabletek o wymiarach 6 mm x 6 mm. Na życzenie klienta może też być dostępny w innych rozmiarach.



Rys. 3. Katalizator TZC-3/I

Dzięki takiej formie katalizator TZC-3/I ma następujące zalety użytkowe:

- stosunkowo wysokie rozwinięcie powierzchni geometrycznej
 - lepsza dostępność kształtek katalizatora, a tym samym wyższa aktywność z jednostki objętości złoża
 - wyższa jednorodność przepływu gazów i niższe opory przepływu
 - ograniczona podatność na ścieranie i niższe pylenie ze złoża.
- Zestawienie parametrów katalizatora TZC-3/I zawarto w Tabelcy I.

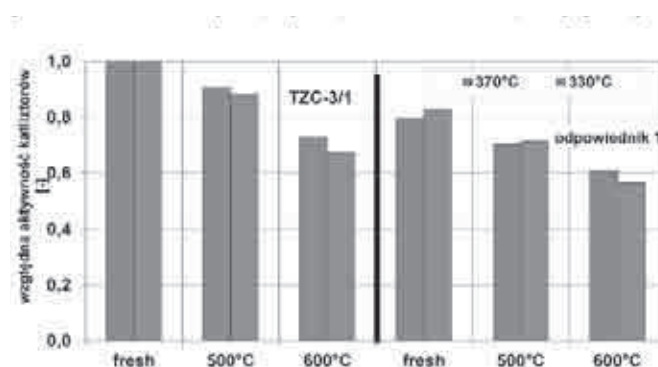
Tabelca I

Zestawienie właściwości katalizatora TZC-3/I

	TZC-3/I
Skład chemiczny, % wag.	Fe ₂ O ₃ – min. 71,5 Cr ₂ O ₃ – min. 8,8 CuO – min. 1,9
Kształt i wymiary (D x H), mm	tabletki z wyoblonymi podstawami 6 × (6 ± 1)*
Zawartość siarki, % mas.	nie więcej niż 0,02
Ścieralność, % mas.	< 4
Gęstość nasypowa, kg/dm ³	1,25 ± 0,15
Średnia wytrzymałość mechaniczna (prostopadle do osi, daN/tabletkę)	11

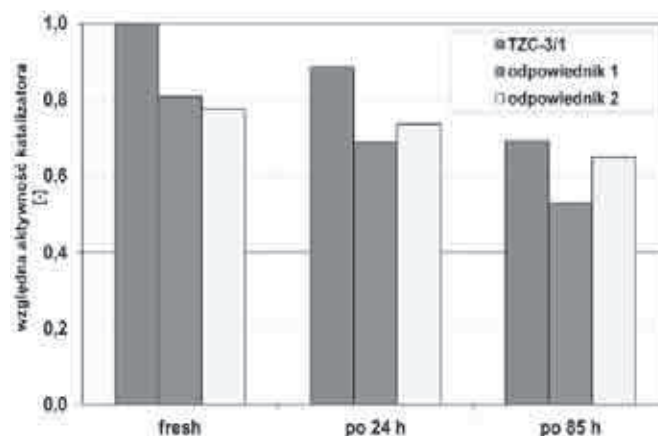
* dostępne także tabletki z płaskimi podstawami i o innych wymiarach

Na Rysunku 4 przedstawiono porównanie aktywności w 370 i 330°C katalizatorów świeżych i poddanych przegrzaniu w 500°C oraz 600°C innych producentów. Wynika z niego, że TZC-3/I cechuje się wyższą termostabilnością, niż jego odpowiedniki.



Rys. 4. Porównanie aktywności wybranych katalizatorów WTKCO względem katalizatora TZC-3/I w temperaturze 370°C

Rysunek 5 obrazuje porównanie zmian aktywności wybranych katalizatorów WTKCO w trakcie długotrwałego testu w temperaturze 370°C, z którego wynika, że w przypadku katalizatora TZC-3/I spadek aktywności jest najwolniejszy.



Rys. 5. Porównanie aktywności wybranych katalizatorów WTKCO względem katalizatora TZC-3/I w temperaturze 370°C

Porównanie katalizatora TZC-3/I z katalizatorami WTKCO oferowanymi przez wiodące firmy światowe wykazuje, że jest on w pełni konkurencyjny wobec swoich odpowiedników [16]. O jakości tego katalizatora świadczy również wielkość sprzedaży i duże zainteresowanie użytkowników katalizatorów w Polsce, Europie, a także na Dalekim Wschodzie.

Katalizator niskotemperaturowej konwersji tlenku węgla z parą wodną TMC-3/I

Szacuje się, iż katalizatory NTKCO mają największy udział w kosztach zakupu wszystkich katalizatorów ciągu amoniakalnego. Stosowanie wysokiej jakości katalizatorów NTKCO i prawidłowa ich eksploatacja, w znacznej mierze decydują o sprawności wodorowej i ekonomicznej całej wytwórni amoniaku [17].

Wraz z tendencją do maksymalizacji wydajności przy minimalnych kosztach wytwórni pojawiła się konieczność ulepszenia katalizatora NTKCO, gwarantująca dłuższy czas eksploatacji. W ramach kooperacji INS i Azotów Tarnów opracowano technologię otrzymywania nowego katalizatora TMC-3/I (Tab. 2 i Rys. 6).

Tablica 2

Właściwości katalizatorów TMC-3/I

	TMC-3/I	TMC-3/I-K TMC-3/I-Cs
Skład chemiczny, % wag. CuO	min. 50	
ZnO	min. 25	
Al ₂ O ₃	min. 10	
promotor	-	alkalia
Wymiary (DxH), mm	4.5x3.5	
Ciężar nasypowy, kg/dm ³	1.3±0.1	
Wytrzymałość mechaniczna, daN/cm ²	min. 400	

* dostępne także tabletki o innych wymiarach



Rys. 6. Katalizator TMC-3/I

Najnowsze wersje katalizatora TMC-3/I-Cs i TMC-3/I-K są dodatkowo promotowane odpowiednio cezem i potasem. Dodatek alkaliów do katalizatora radykalnie zwiększa selektywność, ograniczając powstawanie metanolu na katalizatorze [18]. W przypadku katalizatora TMC-3/I-K dodatek potasu – wykazującego wysokie powinowactwo do trucizn, np. związków chloru i związków siarki – ma na celu zwiększenie jego właściwości ochronnych. Z tych względów zaleca się, aby katalizator TMC-3/I-K był instalowany przede wszystkim we wlotowej części złoża katalitycznego, natomiast do pozostałej części złoża rekomenduje się katalizator TMC-3/I lub TMC-3/I-Cs (Rys. 7).



Rys. 7. Złoże katalizatora TMC-3/I w reaktorze przemysłowym

Obecnie w instalacjach przemysłowych stosowane są 3 wersje katalizatorów TMC-3/I różniące się rodzajem i ilością promotorów alkalicznych. Katalizatory te są z powodzeniem eksploatowane we wszystkich polskich wytwórniach amoniaku, a także w Europie i Azji.

Katalizator syntezy amoniaku PS3-INS

Azoty Tarnów od ponad 40 lat są producentem katalizatora syntezy amoniaku. W latach 90. XX w. wprowadzono na rynek nową wersję katalizatora o parametrach odpowiadających produktom firm światowych. Było to efektem szerokiej współpracy z Politechniką Szczecińską, Politechniką Warszawską oraz INS Puławy i zakończyło się wdrożeniem do produkcji w Tarnowie katalizatora o symbolu PS3-INS. Jest to katalizator stopowy, otrzymywany poprzez wytop rudy magnetytowej wraz z domieszkami i kontrolowane chłodzenie powstałej lawy. Uzyskany materiał katalityczny jest rozdrabniany i frakcjonowany. Finalny katalizator ma nieregularny kształt, przy czym oferowane są frakcje o zróżnicowanym wymiarze ziarna, optymalnym dla danego typu reaktora syntezy (Rys. 8).



Rys. 8. Katalizator PS3-INS

Komponentem aktywnym katalizatora jest metaliczne żelazo z odpowiednimi promotorami strukturalnymi i elektronowymi [19]. Właściwa forma katalizatora powstaje w wyniku redukcji po umieszczeniu katalizatora w reaktorze przemysłowym. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom użytkowników katalizatorów, opracowano preredukowaną wersję katalizatora o symbolu PS3-INS-R, która charakteryzuje się krótszym czasem i niższą temperaturą aktywacji w stosunku do standardowego katalizatora PS3-INS. W Tabelcy 4 zestawiono najważniejsze parametry katalizatorów PS3-INS.

Tablica 3

Zestawienie parametrów katalizatorów PS3-INS i PS3-INS-R

	PS3-INS	PS3-INS-R
Skład chemiczny, % wag.	Fe ₂ O ₃ – min. 56 FeO – min. 29 promotory – ok. 10	Fe – ok. 80 Fe ₂ O ₃ + FeO – ok. 10 promotory – ok. 10
Kształt ziarna	nieregularny	
Wielkość ziarna, mm	1.5 ÷ 3.3 ÷ 5.5 ÷ 8.6 ÷ 10.8 ÷ 12	
Gęstość nasypowa, kg/dm ³	2.5 ÷ 2.8	1.9 ÷ 2.2

Katalizatory PS3-INS odpowiadają jakością innym katalizatorom oferowanym przez koncerny światowe, a wsady katalizatora PS3-INS są z bardzo dobrym skutkiem eksploatowane w wielu instalacjach. O bardzo dobrej jakości katalizatorów PS3-INS świadczy ich wysoka aktywność, wysoka termostabilność i trwałość, co sprawia, że możliwa jest ich bardzo długa eksploatacja. W wytwórniach, gdzie gaz syntezowy charakteryzuje się wysoką czystością, spadek aktywności katalizatora PS3-INS w czasie jest bardzo mały. Standardem jest, że czas pracy katalizatora PS3-INS przekracza 10 lat. W jednej z polskich wytwórni amoniaku wsad tego katalizatora eksploatowano przez 16 lat i wyprodukowano w tym okresie ponad milion ton amoniaku [20].

Usługi okołosprzedawcze

Oferowanie produktów wysokiej jakości nie wystarcza, aby skutecznie konkurować jako dostawca katalizatorów na dzisiejszym rynku. Konieczny w tym celu jest znacznie szerszy wachlarz usług, dlatego Azoty Tarnów wraz z towarem oferują serwis techniczny, obejmujący profesjonalny nadzór nad wyładunkiem i załadunkiem katalizatorów, procesem ich redukcji i uruchomieniem instalacji produkcyjnej. Zapewniają także pomoc techniczną w zakresie prognozowania pracy katalizatora przed jego dostarczeniem, optymalizacji pracy katalizatora, oceny pracy katalizatora w całym okresie eksploatacji oraz pomocy przy usuwaniu skutków zaburzeń w pracy katalizatora. Na życzenie, we współpracy ze sprawdzonymi partnerami, specjaliści z Azotów Tarnów służą wsparciem w organizacji wymiany złoża katalizacyjnego wraz z czyszczeniem reaktora oraz gotowością odbioru zużytych katalizatorów i ich recyklingu.

Podsumowanie

Oferowane przez Azoty Tarnów katalizatory są z powodzeniem stosowane zarówno w polskich, jak i zagranicznych wytwórniach amoniaku i wodoru. Azoty Tarnów posiadają liczne referencje świadczące o wysokiej klasie i jakości naszych produktów. Mimo silnej konkurencji na rynku, utrzymujemy od wielu lat znaczącą pozycję producenta katalizatorów WTKCO, NTKCO i syntezy amoniaku. Aby sprostać rosnącym wymaganiom międzynarodowego rynku i utrzymać konkurencyjność wobec wyrobów dominujących producentów katalizatorów, katalizatory są stale i skutecznie doskonalone.

Podkreślić należy dużą rolę współpracy Azotów Tarnów w obszarze badań stosowanych z Instytutem Nawozów Sztucznych. W ramach tej współpracy prowadzone są badania nad oceną właściwości katalizatorów, dalszym ich doskonaleniem oraz wdrażaniem nowych wersji. Współpraca pomiędzy Azotami Tarnów i INS Puławy sięga lat 70. XX w. i przynosi pozytywne rezultaty, czego efektem są wspólne patenty na produkowane w Tarnowie katalizatory.

Ze względu na duże zapotrzebowanie przemysłu na te katalizatory, stale modernizowane jest wyposażenie linii produkcyjnych i zwiększane ich zdolności produkcyjne. W ostatnim dziesięcioleciu wyprodukowano kilka tysięcy ton katalizatorów, dostarczając je do użytkowników krajowych i zagranicznych. Na polskim rynku – dzięki doskonałej znajomości wymagań i problemów rodzimego przemysłu nawozowego – Azoty Tarnów cieszą się niekwestionowaną pozycją lidera. Katalizatory produkowane w Azotach Tarnów znalazły również odbiorców w wielu krajach europejskich, takich jak np. Niemcy, Austria, Węgry, Ukraina, Włochy, Rosja, Białoruś, jak też na tak dalekich rynkach, jak np. Bangladesz, czy Indonezja. Powtarzalność zamówień nawet pozaeuropejskich użytkowników jest dowodem uznania wysokiej jakości tych produktów.

Literatura

1. U. Zardi et al.: 100 Not Out – I. *Birth of the process of the Modern ammonia industry*. Nitrogen&Syngas Conference Roma 2009 Proceedings.
2. <http://www.fertilizer.org>.
3. Twigg M. V.: *Catalyst Handbook*. Wolfe Publishing Ltd 1989.
4. Walendziewski J. et al.: *Przem. Chem.* 1993, 4.

5. Topsøe H.: *Appl. Catal. A* 2007, **322**, 3.
6. Gołębiowski A. et al.: *Przem. Chem.* 2009, **12**, 1284.
7. Rostrup-Nielsen J., Christiansen L.J.: *Concepts in syngas manufacture*. Imperial College Press 2011.
8. Ferreira-Aparicio P., Benito M.J., Sanz J. L.: *New Trends in Reforming Technologies: from Hydrogen Industrial Plants to Multifuel Microreformers*. *Catalysis Reviews* 2005, **47:4**, 491 – 588.
9. Prokop U. et al.: *Przem. Chem.* 2007, **86**, 617.
10. Ratnasamy C. et al.: *Cat. Rev.* 2009, **51**, 325.
11. Figueiredo R.T. et al.: 2011, **172**, 166.
12. Hadden R.A. i in.: *Appl. Catal. A*; 122(1995)11.
13. Gines M. i in.: *Appl. Catal. A*; 131(1995)283.
14. Kowalik P. et al.: *Catal. Today* 2011, **176**, 144.
15. Gołębiowski A., Stołecki K.: *Kinetyka metanizacji tlenku węgla i ditlenku węgla w warunkach przemysłowych*. *Przem. Chem.* 2001, **80/11**, 514.
16. Śpiewak Z., Gołębiowski A., Kruk J., Stołecki K., Baran P.: *Katalizator TZC-3/1 do wysokotemperaturowej konwersji tlenku węgla*. *Przem. Chem.* 2007, 43786/5.
17. Borzik D.: *Nitrogen&Methanol*; 264(2003)33.
18. Kowalik P. et al.: *Appl. Catal. A*; 423 424(2012)15.
19. Kowalczyk Z.: *Katalizator żelazowy do syntezy amoniaku modyfikowany metodą impregnacji*, Politechnika Warszawska, Prace Naukowe, z. 59, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994. ISSN 0137-2300.
20. Mordecka Z., Skórski J.: *Synteza amoniaku w ZA Kędzierzyn – doświadczenia z eksploatacji*. Seminarium Producentów i Użytkowników Polskich Katalizatorów Jaworze 2007.

Inż. Piotr BARAN ukończył studia na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej. Od 2010 r. jest dyrektorem Wytwórni Katalizatorów w Zakładach Azotowych w Tarnowie-Mościcach SA. Specjalność – technologia chemiczna nieorganiczna.

Mgr Edyta KLEMPKA ukończyła studia na Wydziale Zarządzania Akademii Ekonomicznej w Krakowie. Od 1999 r. zajmuje się sprzedażą i marketingiem katalizatorów, od 2010 r. jest product managerem i zastępcą dyrektora Wytwórni Katalizatorów w Zakładach Azotowych w Tarnowie-Mościcach SA.

Dr Paweł KOWALIK ukończył studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Od 2008 r. jest kierownikiem Zakładu Katalizatorów w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach. Specjalność – kataliza stosowana.

Mgr Katarzyna ANTONIAK – ukończyła studia wyższe na Wydziale Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Ma otwarty przewód doktorski na UMCS. Od 2007 r. pracuje w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach, obecnie na stanowisku asystenta. Specjalność – preparatyka katalizatorów.