

KATALYTICKÝ ROZKLAD OXIDU DUSNÉHO

LUCIE OBALOVÁ^a a BOHUMIL BERNAUER^b

^aKatedra fyzikální chemie a teorie technologických procesů, Vysoká škola báňská – Technická univerzita, tř. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava, ^bÚstav anorganické technologie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
e-mail: Lucie.Obalova@vsb.cz, Bohumil.Bernauer@vscht.cz

Došlo 11.4.02, přepracováno 1.10.02, přijato 29.11.03.

Klíčová slova: oxid dusný, katalytický rozklad, mechanismus, kinetika, inhibice

Obsah

1. Úvod
2. Termodynamické podmínky rozkladné reakce
3. Katalyzátory rozkladné reakce N₂O
 - 3.1. Katalyzátory na bázi kovů
 - 3.2. Katalyzátory na bázi oxidů
 - 3.3. Katalyzátory na bázi směsných oxidů
 - 3.4. Katalyzátory na bázi kalcinovaných sloučenin typu hydrotalcitu
 - 3.5. Katalyzátory na bázi zeolitů
4. Závěr

1. Úvod

Oxid dusný patří mezi látky přispívající ke skleníkovému efektu a jeho vzrůstající koncentrace v atmosféře je považována za jednu z příčin poškození ozónové vrstvy. Mezi významné zdroje oxidu dusného patří některé chemické výroby a spalovací procesy. N₂O vzniká rovněž při provozu automobilových motorů s třístannými katalyzátory^{1–3}. Shrnutí současného stavu problematiky emisí oxidu dusného spolu s přehledem technologií vyvíjených pro jejich snižování byl již věnován přehledný článek v tomto časopise⁴.

Je zřejmé, že nejjednodušším postupem likvidace oxidu dusného je jeho rozklad na kyslík a dusík v přítomnosti vhodného katalyzátoru. Výhodou navrhované metody je, že produktem reakce jsou přirozené složky ovzduší a lze ji aplikovat na stávající technologie. V porovnání s ostatními možnostmi, např. likvidací N₂O termickým rozkladem⁵, lze katalytický rozklad N₂O realizovat za nižších teplot, což snižuje energetické, a tedy i finanční nároky celého řešení. Tento postup proto v poslední době oprávněně vyvolává pozornost.

2. Termodynamické podmínky rozkladné reakce

Rozklad oxidu dusného podle rovnice (1) je vzhledem k hodnotě standardní Gibbsovy energie ΔG_p° (298 K) = –103 kJ.mol^{–1} reakcí termodynamicky schůdnou⁶.



Při rozpadu molekuly oxidu dusného dochází k rozštěpení slabší vazby N–O (řád vazby N–O je 1,6), zatímco silnější vazba N–N zůstává zachována (řád vazby N–N je 2,7, cit.⁷).

Rovnovážné konstanty K_p reakce (1) vypočtené z reakční isotermy⁸ pro různé teploty jsou uvedeny v tabulce:

T, K	298	400	600	800	1000	1200
K_p	1,787.10 ¹⁸	3,933.10 ¹⁴	1,116.10 ¹¹	1,843.10 ⁹	1,526.10 ⁸	2,827.10 ⁷

Rovnovážná konverze N₂O se v uvedeném rozsahu teplot 298–1200 K blíží 1.

Experimentálně však bylo zjištěno⁹, že reakce v homogení fázi prakticky neprobíhá a k měřitelné konverzi N₂O dochází až při teplotách nad 1170 K. Důvodem této kinetické stability je fakt, že disproportionace N₂O na N₂ a O₂ je reakcí spinově zakázanou, čemuž odpovídá¹⁰ i vysoká hodnota aktivní energie štěpení vazby N–O (250–270 kJ.mol^{–1}).

Realizaci rozkladu N₂O i za technicky zajímavých teplot lze docílit použitím vhodného katalytického systému.

3. Katalyzátory rozkladné reakce N₂O

Katalytický rozklad oxidu dusného byl rozsáhle studován v přítomnosti katalyzátorů různého typu; šlo jak o samotné a nanesené kovy, tak o oxidy, směsné oxidy a zeolity. Přehled zkoumaných katalyzátorů zpracoval např. Kapteijn⁷.

Cílem velké části starších prací bylo objasnění mechanismu reakce. Teprve studie z posledních let jsou zaměřeny na praktické aplikace. Aktivita katalyzátorů je nejčastěji sledována při počáteční koncentraci N₂O odpovídající reálným koncentracím v odpadních plynech např. z výroby kyseliny dusičné a ze spalovacích procesů (300–1000 ppm), případně z výroby kyseliny adipové (25–30 mol.%). Snahou je vyvinout aktivní a stabilní katalyzátor, jehož katalytické vlastnosti nebudou negativně ovlivněny dalšími složkami běžně se vyskytujícími v odpadních plynech, především kyslíkem, vodní párou a dalšími (NO_x, SO₂, CO₂).

3.1. Katalyzátory na bázi kovů

Rozklad N₂O byl sledován na platině¹¹, zlatu¹², rhodiu¹³ a mědi¹⁴ s cílem navrhnout kinetickou rovnici reakce a posou-

dit inhibiční vliv kyslíku. Mechanismus rozkladné reakce N_2O na Rh při 220 °C byl studován pomocí izotopu ^{18}O a pomocí teplotně programované desorpce. Je navrhován Langmuirův-Hinshelwoodův mechanismus tvořený kroky:



kde $*$ označuje aktivní místo na povrchu katalyzátoru.

Disociační adsorpcí N_2O – krok (2) – vzniká molekula dusíku a kyslík adsorbovaný na povrchu katalyzátoru; ten je po rekombinaci s dalším povrchově vázaným kyslíkem desorbován podle rovnice (3).

Rozklad N_2O byl také sledován na kovech Pd (cit.^{15,16}), Ru (cit.^{17–19}), Pt (cit.²⁰), Cu (cit.^{21–23}), Rh (cit.^{24–29}) nanesených na různých nosičích (Al_2O_3 , ZnO , ZrO_2 , CeO_2). Velmi aktivním katalyzátorem je Rh/ ZnO (cit.²⁹), v přítomnosti H_2O a NO_2 však dochází k poklesu reakční rychlosti. Teplota potřebná pro dosažení 100% konverze N_2O při zatížení $m_{kat}/V_{celk} = 1,25 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{l}^{-1}$ se zvýšila o 160 °C v přítomnosti O_2 , H_2O a NO_2 . Aktivním katalyzátorem je Ru na alumině, a to i v přítomnosti vodní páry¹⁷.

3.2. Katalyzátory na bázi oxidů

Rozklad N_2O byl sledován různými autory na řadě oxidů, nejrozsáhlejší jsou starší práce Wintera^{30,31} a Golodetse³². Katalytická aktivita byla pozorována u oxidů přechodných kovů VIII. skupiny (Co, Fe, Ni) a dále na oxidech kovů Rh, Ir, Cu a La. Rozklad je až na výjimky (Ca, Sr, La, Ce, Zn, Hf, Mg) inhibován kyslíkem obsaženým v reakční směsi, resp. kyslíkem uvolňovaným v průběhu rozkladné reakce. Novější práce se zabývají rozkladem N_2O na oxidech Co (cit.³³), Fe (cit.³⁴), Mn (cit.³⁵), Mg (cit.^{36,37}), Ca (cit.³⁸), Zr (cit.³⁹) a dále na Rh_2O_3 (cit.⁴⁰), RuO_2 (cit.⁴¹), CuO (cit.⁴²), BaO (cit.⁴³), CoO (cit.⁴⁴) nanesených na různých nosičích.

Reakční mechanismus rozkladu N_2O na oxidech je podle Wintera³¹ tvořen kroky (4), (5), (3) a (6):



kde kroky (4) a (3) jsou vratné. Za předpokladu ustáleného stavu a konstantního počtu aktivních míst na povrchu katalyzátoru byla odvozena rychlostní rovnice:

$$r = \frac{k_5 K_4 N_T \cdot p_{N_2O}}{1 + K_4 \cdot p_{N_2O} + \sqrt{p_{O_2}} / \sqrt{K_3}} \quad (7)$$

kde N_T je koncentrace aktivních míst na povrchu katalyzátoru, p_{N_2O} označuje parciální tlak oxidu dusného, p_{O_2} označuje parciální tlak kyslíku.

Adsorpcí oxidu dusného a kyslíku může způsobovat inhibici reakce. Bylo zjištěno, že adsorbované množství N_2O bývá malé. Kroky (4), (5) lze pak vyjádřit rovnicí (2), což vede k výrazu pro reakční rychlost r :

$$r = \frac{k_2 N_T \cdot p_{N_2O}}{1 + \sqrt{p_{O_2}} / \sqrt{K_3}} \quad (8)$$

Pokud reakce není inhibována kyslíkem, přechází rovnice (8) do tvaru:

$$r = k_2 N_T \cdot p_{N_2O} \quad (9)$$

Tento případ nastává např. při rozkladu N_2O na katalyzátoru ZrO_2 (cit.³⁹):

Inhibice kyslíkem může být způsobena adsorpcí celé molekuly kyslíku na aktivní centrum podle rovnice (10), v tomto případě je desorpce kyslíku krokem určujícím celkovou rychlost reakce:



nebo nevratnou disociační chemisorpcí molekuly O_2 na aktivní centra (zpětná reakce (3)):



3.3. Katalyzátory na bázi smíšených oxidů

Z této skupiny katalyzátorů byly pro rozklad N_2O testovány spinely, perovskity, tuhé roztoky kovů a oxidy obohacené malým množstvím kovu.

Vhodnými katalyzátory pro praktické aplikace se jeví spinely⁴⁵ MAI_2O_4 ($M = Cu, Mg, Zn$), Co_3O_4 (cit.³⁴) a perovskity⁴⁶ $La_{1-x}Sr_xB'_yB''_{1-y}O_3$, ($B', B'' = Mn, Co, Fe$). Bylo zjištěno, že tyto katalyzátory jsou stabilní a odolné vůči katalytickým jedům.

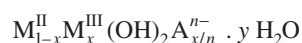
Na perovskitech typu ABO_3 ($A = La, Ba, Sr, Ca, B = Ti, Mn$) navrhli Tejuca a spol.⁴⁷ stejný reakční mechanismus jako v případě katalyzátorů na bázi oxidů tvořený reakčními kroky (4), (5), (3). Inhibice rozkladu N_2O kyslíkem byla různá. Autoři předpokládali, že do rozkladné reakce N_2O je zapojen i kyslík vázaný v mřížce perovskitu. Podle Songa a spol.⁴⁸ je aktivní místo na povrchu katalyzátoru tvořené sousedními atomy kov–O–kov. Bylo zjištěno, že na aktivitu má vliv oxidační stav iontu přechodného kovu a jeho koordinace. Oktaedricky koordinovaný Co^{2+} v $MgAl_2O_4$ je aktivnější než tetraedricky koordinovaný Co^{2+} . Deformace struktury u oktaedru vede k dvěma delším vazbám Co–O, kde jsou slabší vazebné síly mezi kyslíkem a kobaltem⁴⁹. Cimino a Indovina⁵⁰ se zabývali vztahem mezi oxidačním stavem iontu přechodného kovu a jeho katalytickou aktivitou: katalytická aktivita iontů Mn^{3+} dispergovaných v matici MgO je mnohem vyšší než iontů Mn^{2+} a Mn^{4+} .

Studie⁵¹ pevných roztoků iontů přechodných kovů Cu, Fe, Co, Cr, Mn a Ni v oxidech (Al₂O₃, MgO) ukázaly detailnější obrázky aktivních center tvořených kationty přechodných kovů. Bylo pozorováno, že při velmi nízkých koncentracích, kdy již lze ionty přechodného kovu považovat za izolované, byla katalytická aktivita iontů velmi vysoká. Se vzrůstající koncentrací aktivita iontů klesala. Ve zředěných tuhých roztocích iontů přechodných kovů byl inhibiční efekt kyslíku mnohem menší⁵², protože izolované ionty jsou neschopné chemisorpce O₂ podle rovnice (11).

Studie z posledních let se zabývají rozkladem N₂O na iontech přechodných kovů Ni (cit.⁵³), Cu (cit.⁵⁴), Co (cit.^{18,55}) v MgO a na systémech typu (CaO)_{1-x}(MO)_x, kde M = Ti, Cr (cit.⁵⁶).

3.4. Katalyzátory na bázi kalcinovaných sloučenin typu hydrotalcitu

Katalyzátory připravené termickým rozkladem (kalcinací) sloučenin typu hydrotalcitu lze na základě jejich struktury zařadit mezi směsné oxidy kovů. Prekurzory těchto katalyzátorů – sloučeniny typu hydrotalcitu, mají obecné chemické složení:



kde M^{II} značí dvojmocný kationt např. Mg²⁺, Zn²⁺, Co²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Mn²⁺, M^{III} značí trojmocný kationt např. Al³⁺, Cr³⁺, Fe³⁺, Aⁿ⁻ je n-mocný aniont např. CO₃²⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, CrO₄²⁻, V₁₀O₂₈⁶⁻.

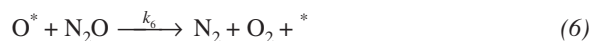
Pro rozklad oxidu dusného byly použity uhličitánové formy s aniontem CO₃²⁻, jež bývají značeny M^{II}–M^{III}–HT.

Při tepelném rozkladu hydrotalcitu se uvolní strukturně vázaná voda a oxid uhličitý a vznikne převážně amorfni směs oxidů kationtů M^{II} a M^{III}. Takto obdržené katalyzátory mají dobře definovaný obsah a rovnoměrnou distribuci aktivních složek, poměrně velký specifický povrch a jsou tepelně stálé.

Rozkladem N₂O na kalcinovaných hydrotalcitech s různými kombinacemi a poměry dvojmocných a trojmocných kovů (M^{II} = Mg, Co, Ni, Cu, Zn a M^{III} = Al, Fe, Cr) se ve své práci zabýval Kannan⁵⁷. Zjištěnou vysokou katalytickou aktivitu vysvětlil nestechiometrií a velkou disperzí vzniklých směsných oxidů kovů. Armor a spol.⁵⁸ studovali rozklad N₂O v simulovaném procesním plynu na kalcinovaných hydrotalcitech M^{II}–Al–HT, kde M^{II} = Co, Ni, Cu, Co/Pd, Co/Rh a Co–Mg. Bylo zjištěno, že přítomnost vodní páry a kyslíku neovlivňuje významně konverzi na katalyzátoru připraveném kalcinací Co/Rh–Al–HT a Co–Mg–Al–HT (100% konverze N₂O v přítomnosti vodní páry a O₂ při 450 °C, počáteční koncentrace 985 ppm N₂O, prostorová rychlost 30 000 h⁻¹).

Rovněž kalcinovaný hydrotalcit Zn–Al, Rh–HT je katalyzátor vhodný pro rozklad N₂O při nízkých teplotách (400 °C); jeho aktivita zůstala zachována i v přítomnosti NO₂, O₂ a vodní páry⁵⁹.

Kinetická data rozkladu N₂O na kalcinovaných sloučeninách typu hydrotalcitu byla vyhodnocena Kannanem⁵⁷ s použitím rychlostní rovnice 1. řádu vzhledem k p_{N₂O} bez inhibičního vlivu kyslíku – rovnice (9), čemuž odpovídá reakční mechanismus navržený Dandlem a Emigem⁶⁰, sestávající z reakcí (2), (3) a reakce (6):



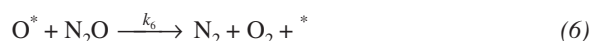
Reakce (3) je však v tomto případě nevratná, což vede k tomu, že reakční rychlost není inhibována kyslíkem. Složitější reakční mechanismus rozkladu N₂O byl navržen Románem-Martínezem a spol.⁶¹ Předpokládá účast kyslíku z mřížky katalyzátoru v reakci. Podle autorů dochází k migraci adsorbovaných kyslíkových atomů a migraci kyslíkových atomů z mřížky katalyzátoru. Adsorbované kyslíkové atomy se spojují s kyslíkovými atomy z mřížky za vzniku molekulárního kyslíku podle rovnice (3).

Pérez-Ramírez a spol.⁶² prováděli rozklad N₂O na kalcinovaných hydrotalcitech v přítomnosti O₂ a SO₂ s cílem simulovat odpadní plyny ze spalovacích procesů ve fluidním loži. Bylo zjištěno, že přítomnost Mg v katalyzátoru má stabilizující roli a odstraňuje ireverzibilní otravu katalyzátoru při nízkých teplotách (90% konverze N₂O na Co, Mg–Al, Rh–HT při 320 °C, počáteční koncentrace 1000 ppm N₂O v He, zatížení m_{kat}/n_{N₂O}⁰ = 224 g.h.mol⁻¹).

3.5. Katalyzátory na bázi zeolitů

Zeolity s vyměněnými ionty přechodných kovů (Fe, Co, Cu, Rh) v různých maticích (ZSM-5, ZSM-11, mordenit, USY, ferrierit) jsou aktivními katalyzátory^{63–68} rozkladu N₂O. Přehled starších studií je uveden např. v práci Kapteijna a spol.⁷ Nejlepší výsledky (100% konverze N₂O při 320 °C, zatížení m_{kat}/V_{celk} = 2,5 g.min.l⁻¹, počáteční koncentrace 500 ppm N₂O v He) byly dosaženy na katalyzátorech⁶⁹ Ru/ZSM-5, Ru–Na/ZSM-5 a Ru–NaUSY, v přítomnosti kyslíku však došlo k poklesu reakční rychlosti. Li a Armor⁶⁶ publikovali jako neaktivnější zeolity Rh/ZSM-5 a Cu/ZSM-5. Aktivita katalyzátoru je určena kombinací kationtu kovu a typu zeolitu. Aktivitu kationtu kovu lze odhadnout na základě katalytické aktivity oxidu daného kovu.

Na zeolitickém katalyzátoru Fe–ZSM-5 byl navržen⁶⁵ mechanismus zahrnující reakce (2) a (6):



Kinetika reakce se řídí kinetickou rovnicí 1. řádu vzhledem k p_{N₂O}:

$$r = \frac{2k_2k_6N_T}{k_2 + k_6} p_{N_2O} \quad (12)$$

Na zeolitech Fe–Y a Fe–Mor je předpokládáno zapojení kyslíku z mřížky katalyzátoru při reakci. Dochází k rychlé výměně kyslíku mezi N₂O a katalyzátorem, kterou lze popsat rovnicí (3).

Inhibice reakce kyslíkem byla u jednotlivých zeolitických katalyzátorů různá. Na katalyzátorech Rh–ZSM-5 a Cu–ZSM-5 byl rozklad inhibován kyslíkem pouze do určité koncentrace kyslíku⁶⁸ a tato inhibice byla způsobena⁷⁰ nevratnou disociační chemisorpcí molekuly O₂ na aktivní centra podle reakce (11). Rozklad N₂O v přítomnosti ZSM-5 s vyměněnými ionty kovů Pd, Fe a Co nebyl inhibován kyslíkem vůbec⁶⁶. Katalytická aktivita katalyzátorů na bázi zeolitů byla až na výjimky negativně ovlivněna přítomností vodní páry, což omezuje jejich praktické použití⁶³. Na některých zeolitech byly pozorovány oscilace reakční rychlosti^{71,72}.

4. Závěr

Nalezení vhodného katalytického systému pro rozklad oxidu dusného představuje nyní hlavní krok k využití rozkladu jako nejjednoduššího postupu likvidace emisí oxidu dusného v odpadních plynech. Výzkum je zaměřen na vývoj katalyzátorů aktivních za nízkých teplot, jež budou odolné vůči inhibici kyslíkem a vodní párou. Z tohoto hlediska se jeví nadějnými katalyzátory připravené kalcinací sloučenin typu hydrotalcitu, jež snadno desorbují kyslík a jejichž aktivita není na rozdíl od zeolitů negativně ovlivněna vodní párou.

Tato práce vznikla za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, číslo projektu CEZ 273 60 0002 a Grantové agentury České republiky, číslo projektu GA 106/02/0523.

LITERATURA

- Soete G. G.: Rev. Inst. Fr. Petrol. 48, 413 (1993).
- Noskov A. S., Abdulin I. R.: Chem. Sustain. Develop. 1, 351 (1993).
- Badr O., Probert S. D.: Appl. Energy 42, 129 (1992).
- Bernauer B., Markvart M., Obalová L., Fott P.: Chem. Listy 95, 392 (2001).
- Reimer R. A., Slaten C. S., Seapan M., Koch T. A., Tomlinson P. E.: *Proceedings of 6th International Workshop on Nitrous Oxide Emissions* (Hupa M., Matinlinna J., ed.), Turku, Finland 1995, str. 521.
- Barin I., Knacke O.: *Thermochemical Properties of Inorganic Substances*. Verlag, Düsseldorf 1973.
- Kapteijn F., Rodriguez-Mirasol J., Moulijn J. A.: Appl. Catal., B 9, 25 (1996).
- Obalová L.: *Teze dizertační práce*. VŠB–TU, Ostrava 2000.
- Klikorka K., Hájek J., Votinský J.: *Obecná a anorganická chemie*. SNTL/ALFA, Praha 1985.
- Greenwood N. N., Earnshaw A.: *Chemie prvků I, II*. Informatorium, Praha 1993.
- Takoudis C. G., Schmidt L. D.: J. Catal. 80, 274 (1983).
- Kalback W. M., Sliepcevich C. M.: Ind. Eng. Chem. Fundam. 17, 165 (1978).
- Uetsuka H., Aoyagi K., Tanaka S., Yuzaki K., Ito S., Kameoka S., Kunimori K.: Catal. Lett. 66, 87 (2000).
- Wolohan P., Welsh W., Friedman R. M., Ebner J. R.: ACS Symp. Ser. 721 (Transition State Modeling for Catalysis), 259 (1999); Chem. Abstr. 130, 317112 (1999).
- Basinska A., Machej T., Matachowski L., Schroeder G., Domka F.: Arch. Ocgr. Srodowiska 25, 91 (1999).
- Wu B., Wang S., Zhuang Y.: Spectrosc. Lett. 30, 1165 (1997).
- Wang X., Zeng H. C.: Appl. Catal., B 17, 89 (1998).
- Zeng H. C., Qian M., Pang X. Y.: Stud. Surf. Sci. Catal. 116, 485 (1998).
- Pinna F., Scarpa M., Strukul G., Guglielminotti E., Bocuzzi F., Manzoli M.: J. Catal. 192, 158 (2000).
- Malfoy P., Granger P., Lamonier J. F., Leclercq L.: Phys. Chem. 41, 109 (1997).
- Dandekar A., Vannice M. A.: Appl. Catal., B 22, 179 (1999).
- Morterra C., Giamello E., Cerrato G., Centi G., Perathoner S.: J. Catal. 179, 111 (1998).
- Ma J., Rodriguez N. M., Vannice M. A., Baker R. T. K.: Top. Catal. 10, 27 (2000).
- Koichi Y., Takayoshi Y., Shin-ich I., Kimio K.: Catal. Lett. 47, 173 (1997).
- Centi G., Galli A., Montanari B., Perathoner S., Vaccari A.: Catal. Today 35, 113 (1997).
- Imamura S., Jindai H., Koyama Y., Ohgoshi S. (Nikon Fine Gas K. K.): JP 2000 317307; Chem. Abstr. 133, 366775 (2000).
- Centi G., Dall'Olio L., Perathoner S.: J. Catal. 192, 224 (2000).
- Oi J., Junko A., Ogata A., Bamwenda G. R., Yagita H., Kushiya S., Koichi M.: Appl. Catal., B 12, 277 (1997).
- Oi J., Tanaka R., Obuchi A., Ogata A., Bamwenda G. R., Kushiya S.: Phys. Chem. 41, 119 (1997).
- Winter E. R. S.: J. Catal. 19, 32 (1970).
- Winter E. R. S.: J. Catal. 34, 431 (1974).
- Golodets G. I.: Stud. Surf. Sci. Catal. 15, 200 (1983).
- Guo L., Wu B., Zhuang Y., Li Q., Zhu H.: Huanjing Kexue Xuebao 18(5), 457 (1998); Chem. Abstr. 129, 249518 (1998).
- Goto T., Niimi A., Hirano K., Takahata N., Fujita S., Shimokawabe M., Takeyawa N.: React. Kinet. Catal. Lett. 69, 375 (2000).
- d. Soete G. G.: Rev. Inst. Fr. Petr. 48, 413 (1993).
- Žemva P., Lesar A., Senegačnik M., Kobal I.: Phys. Chem. Chem. Phys. 2, 3319 (2000).
- Lu X., Xu X., Wang N., Zhang Q.: J. Phys. Chem. B 103, 3373 (1999).
- Satsuma A., Akahori R., Kato M., Komai S., Yoshida H., Hattori T.: J. Mol. Catal. A: Chem. 155, 81 (2000).
- Miller T. M., Grassian V. H.: Catal. Lett. 46, 213 (1997).
- Dann T. W., Schulz K. H., Mann M., Collings M.: Appl. Catal., B 6, 1 (1995).
- Li K., Wang X. F., Zeng H. C.: Chem. Eng. Res. Des. 75, 807 (1997).
- Tagawa K., Miura K., Kodama S., Shimizu A., Tanaka K. (Asahi Kasei Kogyo Kabushiki Kaisha): PCT Int. Appl. WO 99 25461; Chem. Abstr. 130, 342219 (1999).
- Xie S., Lunsford J.: Appl. Catal., A 188, 137 (1999).
- Drago R. S., Jurczyk K., Kob N.: Appl. Catal., B 13, 69 (1997).
- Baier M., Fetzer T., Hofstadt O., Hesse M., Burger G., Harth K., Schumacher V., Wistuba H., Otto B. (BASF A.-G.): PCT Int. Appl. WO 2000 023176; Chem. Abstr. 132, 297873 (2000).
- Burghardt W., Froehlich F., Seifert F. (Inocermic Gesell-

- schaft für Innovative Keramik m.b.H.): DE 19700490; Chem. Abstr. 129, 126432 (1998).
47. Tejuca G. L., Fierro J. L. G., Tascón J. M. D.: Adv. Catal. 36, 237 (1989).
 48. Song C., Shen M., Wang J., Qin Y.: Rashao Kexue Yu Jishu 5, 186 (1999); Chem. Abstr. 131, 290394 (1999).
 49. Angeletti C., Pepe F., Porta P.: J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1 74, 1595 (1978).
 50. Cimino A., Indovina V.: J. Catal. 17, 54 (1970).
 51. Egerton T. A., Stone F. S., Vickerman J. C.: J. Catal. 33, 299 (1974).
 52. Cimino A., Bosco R., Indovina V., Schiavello M.: J. Catal. 5, 271 (1966).
 53. Izumi Y., Shimizu T., Kobayashi T., Aika K.: Chem. Commun. 2000, 1053.
 54. Sato S., Takahashi R., Sodewasa T., Yuma K., Obata Y.: J. Catal. 196, 195 (2000).
 55. Qian M., Zeng H. C.: J. Mater. Chem. 7, 493 (1997).
 56. Loukatzikou L. A., Sdoukos A. T., Pomonis P.: J. Mater. Chem. 7, 1587 (1997).
 57. Kannan S.: Appl. Clay Sci. 13, 347 (1998).
 58. Armor J. N., Braymer T. A., Farris T. S., Li Y., Petrocelli F. P., Weist E. L., Kannan S., Swamy C. S.: Appl. Catal., B 7, 397 (1996).
 59. Oi J., Obuchi A., Ogata A., Bamwenda G. R., Tanaka R., Hibino T., Kushiyama S.: Appl. Catal., B 13, 197 (1997).
 60. Dandl H., Emig G.: Appl. Catal., A 168, 261 (1998).
 61. Román-Martínez M. C., Kapteijn F., Overeijnder J., Moulijn J. A.: *Proceedings of 4th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies* (Riemer P., Eliasson B., Wokaun A., ed.), str. 343. Elsevier, Amsterdam 1999.
 62. Pérez-Ramírez J., Mul G., Xu X., Kapteijn F., Moulijn J. A.: Stud. Surf. Sci. Catal. 130, 1445 (2000).
 63. Kapteijn F., Marban G., Rodriguez-Mirasol J., Moulijn J. A.: J. Catal. 167, 256 (1997).
 64. Rauscher M., Kesore K., Monning R., Schwieger W., Tissler A., Turek T.: Appl. Catal., A 184, 249 (1999).
 65. Fu C. M., Korchak V. N., Hall W. K.: J. Catal. 68, 166 (1981).
 66. Li Y., Armor J. N.: Appl. Catal., B 1, L21 (1992).
 67. Chen L., Chen H. Y., Lin J., Tan K. L.: Surf. Interface Anal. 28, 115 (1999).
 68. Shimokawabe M., Hirano K., Takezawa N.: Catal. Today 45, 117 (1998).
 69. Chang Y.-F., McCarty J. G., Wachsman E. D., Wong V. L.: Appl. Catal., B 4, 283 (1994).
 70. Kapteijn F., Rodriguez-Mirasol J., Moulijn J. A., Mul G., Marban G.: *Proceedings of 11th Congress on Catalysis* (Hightower J. W., Delgass W. N., ed.), str. 641. Elsevier, Amsterdam 1996.
 71. El-Malki E. M., van Saten R. A., Sachtler W. M. H.: Microporous Mater. 35–36, 235 (2000).
 72. Ochs T., Turek T.: Chem. Eng. Sci. 54, 4513 (1999).

L. Obalová^a and B. Bernauer^b (^a*Department of Physical Chemistry and Theory of Technological Processes, Technical University of Ostrava, Ostrava*, ^b*Department of Inorganic Chemistry, Institute of Chemical Technology, Prague*): **Catalytic Decomposition of Dinitrogen Oxide**

The article summarizes the current state of research in the development of catalysts for dinitrogen oxide decomposition. The catalysts are assessed from the viewpoint of practical utilization for decomposition of nitrous oxide emissions in waste gases. Attention is focused on the activity of the investigated catalysts and their sensitivity to inhibition by oxygen, water vapour and other components of waste gases. The proposed mechanisms of the decomposition are discussed.

*Zavedená farmaceutická firma hledá pro své
pracoviště v Praze do výzkumného oddělení*

organického chemika

Náplň práce: syntéza nových léčiv, vývoj
syntetických metod a vývoj procesů.
Dobrá znalost angličtiny podmínkou.

Žádosti s profesním životopisem zašlete na
Interpharma Praha, a.s., Komořanská 955, 143 10 Praha 12,
fax 241 773 235, e-mail: interpharma@interpharma-praha.cz,
www.interpharma-praha.com.