

## CHEMICKÉ LISTY A ČESKÉ SKANDIUM PO 55 LETECH

**VLASTIMIL BROŽEK, BOHUSLAV DUŠEK  
a MIROSLAV NOVÁK**

*Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha  
vlastimil.brozek@vscht.cz*

Prvek skandium  ${}_{21}\text{Sc}$  předpověděl Mendělejev již v roce 1871 jako ekabor. Po osmi letech ho pak objevil chemik L. P. Nilson z univerzity v Uppsale ve švédském nerostu gadolinitu a pojmenoval ho na počet Skandinávie *skandium*. Až do konce 2. světové války byl o chemii skandia nepatrný zájem, především pro jeho malou dostupnost. Informační boom, v jistém smyslu se týkající i skandia, nastal až po válce z naprosto jiných důvodů, které se stručně pokusíme nastínit.

Po válce, v souvislosti s rozvojem strojírenské výroby, bylo nutno rozšířit především výrobu obráběcích nástrojů. V naší tehdejší ČSR jsme měli – dá se říci – štěstí, že Spojené závody na výrobu karborunda a elektritu v Benátkách n/Jiz. měly nadnormativní válečné zásoby surovin – kvalitního křemenného písku a bezsirného petroleolu na několik let dopředu, tudíž výroba brousících nástrojů z karbidu křemičitého stačila saturovat nejen veškerý náš strojírenský průmysl, ale i významný export. Co nám ale v oboru obráběcích nástrojů chybělo, byly řezné či řezací nástroje, jako soustružnické nože, frézy, vrtací korunky a hlavice widiových vrtáků apod. Hlavní složkou těchto nástrojů, tehdy i dnes nesprávně nazývaných „tvrdokovy“ z německého *Hartmetalle*, byl karbid wolframu pojený kobaltem. Jejich výroba postupy práškové metalurgie, především podle německých patentů a v továrnách koncernu Krupp-Widia, byla po válce v troskách. V ČSR vedle kladenské Poldiny Hutí, vyrábějící dvě řady slinutých karbidů typu G (Guss) a S (Stahl) podle patentů fy Krupp z roku 1933, živořil jen malý podnik v Přípiří u Děčína. Odborné slovo zde měli dva němečtí inženýři, C. Agte a K. Očetek<sup>1</sup>, kteří pro svou loajalitu k našemu státu nebyli v roce 1946 odsunuti. Většina našich budoucích odborníků v práškové metalurgii tehdy doháněla válkou přerušena vysokoškolská studia.

Potřeba strojírenských obráběcích materiálů byla ale tak vysoká, že v roce 1947 byl doslova na zelené louce v Šumperku postaven Závod 1. pětiletky, později přejmenovaný na PRAMET n.p. Do areálu tohoto závodu bylo převedeno zmíněné výrobní oddělení slinutých karbidů z Kladna a postupně i Výzkumný ústav práškové metalurgie z Vestce u Prahy. Hlavním výrobním programem byla výroba slinutých karbidů a nástrojů z nich. Monopolní Pramet n.p. vzkvétal a rozšiřoval výrobní program tak, že během několika let zavedl i výrobu ferritů, magnetů a v roce 1971 jako šestý stát na světě i výrobu umělých diamantů. Ale vraťme se zpět

ke skandiu, k němuž u nás cesta vede přes wolfram na Cínovci.

V krušnohorských wolframitech, které byly částečně zpracovávány především přímo v úpravárnách na Cínovci a dále chemicky ve Spolku pro chemickou a hutní výrobu v Ústí n/L., bylo příliš mnoho doprovodných prvků. Dodnes je v úložišti či odkališti na Cínovci tzv. produkt hornické činnosti, který obsahuje mimo jiné i 50 000 t lithia vázaného především v cinvalditu a lepidolitu (s průměrně nižším, ale stále významným podílem Rb a Cs), které čeká na využití při výrobě tritia, až bude vyřešena jaderná fúze v projektu ITER. Vytěžená hornina, především cinvaldit, byla exploatována tak dokonale, že v úložišti na Cínovci již nejsou žádné stopy po wolframu nebo skandiu.

Z wolframitových koncentrátů, zpracovávaných v ústecké chemičce alkalickým postupem, vznikaly chemicky velmi komplikované odpady, pro které nebylo využití. Jejich analýza byla svěřena jednomu z nejuznávanějších našich mineralogů, prof. Janu Kašparovi. Prof. Kašpar, první rektor samostatné VŠCHT Praha od roku 1952 a jeho asistent Ing. V. Seidl pomocí rtg. difrakční analýzy zjistili, že ve vyžiháných fluoridových podílech odpadu vzniká sloučenina se strukturou minerálu thortveititu  $(\text{Sc,Y})_2\text{Si}_2\text{O}_7$ . V té době, v letech 1952–55, se po osamostatnění VŠCHT vytvářely nové studijní programy a zaměření kateder. Jelikož již existovala katedra anorganické technologie, vedená prof. Albertem Regnerem, zaměřená především na elektrochemii a tzv. těžkou anorganickou chemii, bylo rozhodnuto, že speciální anorganické sloučeniny budou náplní práce nově vzniklé katedry organické chemie. Vedoucím této katedry se stal tehdy organický chemik prof. František Petřů, takže anorganické práce dostali na starost Ing. Bohumil Hájek a Ing. Vladimír Procházka, který v chemické obci proslul přezdívkou Chajda. Ing. Hájek pak od prof. Kašpara dostal několik kilogramů ústeckého odpadního produktu s vysokým obsahem skandia (*historický vzorek je dodnes k dispozici*). První experimentální práce Hájka a Procházky pak směřovaly k izolaci skandia ve formě oxidu skanditého a fluoridu skanditého a vůbec první sdělení o těchto experimentech bylo publikováno v roce 1956 právě v *Chemických listech*<sup>2</sup>. Ve spolupráci s Výzkumným ústavem monokrystalů v Turnově, na jehož rozvoji měl podíl prof. Kašpar a jeho spoluzaměstnanci mineralogové, zejména Ing. Čestmír Barta, pak jako první připravili monokrystal  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  a proměřili některé fyzikálně chemické vlastnosti této sloučeniny<sup>3</sup>.

Jelikož se prof. Kašpar v další době přestal skandiem zabývat, resp. zcela přenechal tuto problematiku katedře anorganické chemie, zajímal se Ing. Procházka s Ing. Hájkem o osud suroviny či koncentráту, který se nacházel ve Spolku v Ústí a o jehož izolaci v množství cca

300 kg se nejvíce zasloužil tamější technolog Ing. Slavík. V padesátých letech nastal totiž boom chemie prvků vzácných zemin, k nimž se přidružilo i skandium a yttrium. S rostoucím zájmem o chemii vzácných zemin, souvisejícím především s polovodičovou technikou a barevnou televizí, se svezl i zájem o skandium. S rozvojem chemických teorií, teorie chemické vazby, výzkumu elektronové struktury apod. se očekávalo, že právě skandium jako vůbec první přechodný prvek v pořadí bude mít nějaké mimořádné, ať už chemické nebo fyzikální vlastnosti. Jenže na trhu chemikálií mnoho sloučenin či skandiových komodit k dispozici nebylo, nebo byly skutečně vzácné – rozuměj drahé – takže se chemií tohoto prvku zabývalo jen několik bohatších pracovišť. Díky scientometrii můžeme vysledovat, že mezi takovátou světovou pracoviště, produkující publikace s poznatky o skandiu, můžeme zařadit v USA ve státě Iowa skupinu kolem F. H. Speddinga<sup>4</sup> na Ames University, kteří dokonce až do nedávné doby vydávali bulletin *Rare Earth News*, v Moskvě skupinu akademiků Spicyna a Borisenka<sup>5</sup> a v Kyjevě kolektiv G. V. Samsonova<sup>6</sup>. V Paříži, resp. v předměstí Meudon-Bellevue, to bylo pracoviště CNRS vedené prof. J. Loriersem<sup>7</sup> a u nás také katedra anorganické chemie VŠCHT Praha.

Do této situace pak zapadají naše specifické poměry, dané m.j. měnovou reformou v roce 1953, která nejenže skoncovala s konvertibilitou naší měny, ale také vyvolala potřebu získávání deviz za každou cenu. A zde, v souvislosti s již zmíněným rozvojem obráběcích technologií ve strojírenském Československu, je nutno připomenout rozhodnutí tehdejších kapitánů našeho průmyslu o osudu zpracování severočeských či krušnohorských wolframitů. Separáční proces mohl být veden buď kyselou nebo alkalickou cestou. V jednom z těchto procesů se v koncentrátu zjistil vysoký obsah Nb a Ta, jejichž karbidy, především TaC, extrémně zlepšovaly vlastnosti slinutých karbidů na bázi WC-Co. Druhý proces vedl k získání skandio-tytritického koncentrátu. Generální ředitelství KOVOHUTĚ proto rozhodlo, že ústecký skandiový koncentrát bude přes Lachemu n.p. prodán do zahraničí, konkrétně do Anglie, a zpracování domácí suroviny se zaměří na sloučeniny tantalu, o které, především pro výrobu kondenzátorů, měl zájem i elektrotechnický průmysl. Toto rozhodnutí samozřejmě pro katedru anorganické chemie nebylo příznivé, a proto se nelze divit, že v kladném smyslu všehoschopný Chajda s pomocí Ing. Slavíka „zachránil“ před nevýhodným exportem posledních asi 20 kg skandiového koncentrátu, ze kterých česká chemie skandia žila ještě téměř 20 let. Na tomto místě považujeme za vhodné učinit poznámku „pod čarou“: Ve zmíněných cca 300 kg exportovaného a 20 kg tuzemského skandiového koncentrátu se vyskytuje i thorium, jehož oddělení od skandia bylo mimořádně chemicky obtížné. Pokud se nám dostaly do rukou skandiové chemikálie, produkty známých chemických firem Koch Light nebo Johnson-Matthey & Co., se škodolibostí jsme v nich vždy hledali a samozřejmě našli nějaké to ppm thoria, takže bylo jasné, z jakého stromu jablko spadlo. Že jsme tyto chemikálie mohli z domácí suroviny

vyrábět a za devizy prodávat my, našim kapitánům uniklo.

Shodou okolností se roky 1955 a 1956 vyznačovaly nevyhlášeným závodem o přípravu kovového skandia. Pytel s informacemi a zájmem o vzácné zeminy se roztrhl především s tak zvanými ženevskými protokoly z roku 1955, kdy obě tehdejší velmoci USA a SSSR odtajnilly údaje o jaderných materiálech a způsobech jejich získávání zejména z vyhořelého jaderného paliva. Jak známo, lanthanoidů je ve vyhořelých uranových palivových článcích procentuálně nejvíce, takže do literatury a potom i na trh se dostalo m.j. i promethium, které v přírodě pro svou radiační nestabilitu již neexistuje. Co se týká skandia, dočteme se v literárních údajích ať již z amerického či moskevského pracoviště, že se nikdo nesmířil s prvními údaji Fischera<sup>8</sup>, který v roce 1937 publikoval, že elektrolýzou připravil kovové skandium, které se mu však z reaktivní směsi nepodařilo izolovat, takže jeho vlastnosti popsal neúplně a spíše opatrně. Ani doplňující údaje Meisela<sup>9</sup> o struktuře alfa a beta modifikace skandia z roku 1939 nejsou spolehlivé. Zato v roce 1956 vyšly hned tři práce, popisující přípravu kovového skandia, shodou okolností vždy kalciotermicky z fluoridu skanditého. Vedle práce Acharda, Caro a Lorierse, publikované v *Comptes Rendus*<sup>7</sup> a práce Speddinga<sup>10</sup> z Ames University, Iowa je to právě druhá česká publikace v *Chemických listech*<sup>11</sup> s datem podání 3. 7. 1956, ve které Petrů, Hájek a Procházka popisují přípravu kovového skandia redukcí ScF<sub>3</sub> vápníkem v molybdenovém kelimku, který zahřívají v argonové atmosféře pomocí vysokofrekvenčního ohřevu v podniku TESLA Vršovice na pracovišti vedeném Dr. Schneiderem. Čistý kov pak izolovali vakuovou sublimací při tlaku 10<sup>-4</sup> torr.

V padesátých a šedesátých letech existovaly jen tři zdroje informací a databáze o chemických publikacích, a sice *Chemical Abstracts*, *Referativnyj Žurnal* a *Chemische Zentralblatt*. Nějaký Google či jiné formy elektronického přístupu k podobným databázím ještě nebyly, stejně jako nebyl na světě ani Bill Gates. Ačkoliv mezi placenými abstrakty těchto vydavatelství byli i čeští zaměstnanci, kteří z českých časopisů vybírali to zajímavější, jelikož počet informací byl limitován, zřejmě se tam zmínka z *Chemických listů* nedostala, protože byla vedena jako „krátké sdělení“ a čekalo se na – z dnešního úhlu pohledu – „impaktovanější informaci“. Ta vznikla až v roce 1957 uveřejněním v časopise *Collection*<sup>19</sup>, který byl vždy mezinárodně uznáván. Takže chemický svět v souvislosti se skandiem citoval spíše Acharda a kol.<sup>7</sup> nebo Speddinga<sup>10</sup> a z ruské strany Spicyna nebo Savického<sup>12</sup> z roku 1956, než české autory. A tak byl odstartován náš vlastenecký boj o uznání priority. Ještě 8. listopadu 1956 odjel Ing. Procházka do Lipska na Symposium o vzácných zeminách, které pořádala Německá (NDR) chemická společnost, kde byl také přítomen i prof. Loriers, a spolu si to v diskusi veřejně vyříkali, neboť Achard, Caro a Loriers to publikovali až 23. 7. 1956, tedy o tři týdny později než *Chemické listy*. Poněkud lépe na tom byli Spedding a spol., jejichž publikace<sup>10</sup> má datum 9. 7. 1956. Záznam z jednání v Lipsku byl uveřejněn 19. 2. 1957 v časopisu

Collection<sup>13</sup>.

Za práce spojené s úspěšnou přípravou kovového skandia se sporadickým evropským prvenstvím pak autoři F. Petrů, B. Hájek a V. Procházka získali v roce 1957 prestižní Cenu hlavního města Prahy. Za peníze, získané v této souvislosti, zkonstruoval a postavil v budově VŠCHT doc. Němeček z ČVUT aparaturu pro vysokofrekvenční ohřev, takže další podíly kovového skandia byly již připravovány na domácí půdě.

Kolegiální rivalita se zahraničními pracovišti pokračovala i později, minimálně tím, že naše české práce nebyly jimi citovány v míře, kterou by si zasloužily. Omluvou snad je jen to, že většina jich vycházela česky v domácích časopisech, v zahraničí obtížně dostupných. V tomto smyslu jsme spoléhali na kompendium Gmelin's Handbook, kde jsou všechny, i v českém jazyce psané publikace, citovány a komentovány. Významnějšího ocitování našich prací jsme se dočkali až v roce 1975 v jedné z prvních samostatných monografií *Scandium*<sup>14</sup>. Editorem této monografie byl prof. C. T. Horowitz, který předtím, v roce 1968, navštívil naše pražské pracoviště a obeznámil se s problematikou výzkumu skandia na VŠCHT.

Na katedře anorganické chemie se po roce 1957 výzkum ubíral po dvou kolejích. Jedna skupina pedagogů a vědeckých pracovníků se zabývala systematickou přípravou všech možných sloučenin skandia, případně v sérii s ostatními prvky 3. skupiny, druhá skupina měla za úkol najít pro skandium a jeho sloučeniny nějaké širší, řekněme průmyslové uplatnění. Práce publikované z katedry anorganické chemie od roku 1956 mají číslovaný přídomek: *Beiträge zur Chemie der selteneren Elemente* či Příspěvky k chemii vzácnějších prvků. Po úmrtí prof. Petrů v roce 1974 se toto číslo zastavilo na hodnotě 88. V přípravě některých sloučenin skandia má katedra prvenství, citačně pojištěné např. v Gmelinovi nebo v databázi Powder Diffraction Files (PDF)<sup>15–18</sup>. Jedná se např. o sloučeniny ScOF, Sc<sub>2</sub>OC, Y<sub>2</sub>OC, Sc(BrO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> a další.

Jelikož, jak se dnes říká, o peníze jde až v první řadě, zájem o komerční využití skandia a jeho sloučenin byl celosvětový. V zásadě se ale vycházelo z toho, že skandium je obtížně dostupné a drahé, takže jeho využití musí být založeno buď na nějaké jeho unikátní vlastnosti anebo na ovlivnění vlastností jiných látek malým, ekonomicky přijatelným množstvím skandiové příměsi. Tehdejší cena skandia převyšovala cenu platiny.

Zatím však u žádné sloučeniny skandia nebyla zjištěna anomální či unikátní využitelná vlastnost. První vlnou se ukázala být zmínka prof. G. V. Samsonova z Kyjevského Institutu Matériálovedeníja, že přísada karbidu skandia zvyšuje tvrdost karbidu titanu až na hodnotu kolem 56 GPa (cit.<sup>19</sup>), což by znamenalo, že se jedná o třetí či čtvrtou v pořadí nejtvrďší látku na světě, po diamantu a kubickém nitridu boritém, předstihující karbid boru či karbid křemíku. Samozřejmě, po této informaci se problémem začalo intenzivně zabývat i naše pracoviště ve spolupráci s potenciálním realizátorem Prametem Šumperk (cit.<sup>20,21</sup>), ale také spolupracovníci významného rakouského podniku Metallwerk Plansee AG v Reutte, vedení

prof. H. Nowotnym z vídeňské univerzity, fyzikálním chemikem a odborníkem na „Sondermetalle“. Ten v roce 1965 navštívil katedru anorganické chemie na VŠCHT a jeho návštěva v ČSSR byla ze společenského hlediska tak významná, že se jí zúčastnil i prof. František Čůta a především akademik Rudolf Brdička (obr. 1). Prof. Nowotny se o skandium živě zajímal a také se zmínil o tom, že jej navštívila slečna Helga Auer-Welsbach, vnučka slavného Carl Auer von Welsbacha, která prý v dědečkově pozůstatosti našla lahvičku s oxidem skanditým a že by na toto téma chtěla na vídeňské univerzitě udělat doktorát. Prof. Nowotny jí vyhověl a výsledek si lze přečíst v Monatshefte für Chemie<sup>22</sup>. Z návštěvy u nás si odnesl jisté množství oxidu skanditého a kovového skandia, z nichž pak ve Vídni připravili a potom publikovali<sup>23</sup> nové poznatky o karbidu Sc<sub>15</sub>C<sub>19</sub>.

Také člen-korespondent ukrajinské AV prof. G. V. Samsonov, nositel rakouské Plansee Medal, v roce 1972 navštívil VŠCHT (obr. 2) a vehementně se o práce kolem karbidu skandia zajímal. S pracemi o karbidech skandia a potažmo i karbidech prvků vzácných zemin se opět roztrhl pytel, tentokrát zejména i na anglických univerzitách. Naše pracoviště do této série nazvané *Hydrolyzovatelné karbidy* přispělo celkem 27 původními sděleními<sup>24,25</sup>, ale výsledek byl překvapivě negativní. Všechny karbidy, skandiem počínaje, přes karbidy yttria, lanthanu až po lutecium jsou hydrolyzovatelné a rozkládají se za uvolnění vodíku a směsi uhlovodíků, methanem a acetylenem počínaje a konče až u analyticky zjištěných nasycených uhlovodíků řady C<sub>12</sub>. Naproti tomu všechny další přechodné prvky vpravo od skandia, titanem počínaje, dále prvky V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zr, Hf, Mo, W atd. tvoří karbidy intersticiálního charakteru, chemicky velmi stálé a extrémně tvrdé. Mezi nimi je několik unikátních individualit, např. karbid hafnia HfC s absolutně nejvyšším bodem tání 3820 °C, nebo karbid wolframu s nejvyšší houževnatostí, jejichž průmyslové využití nabývá stále většího významu. Naproti tomu hydrolyzovatelnost karbidu skandia všechny překvapila a způsobila, že preparáty karbidu titanu dopované karbidem skandia se časem působením vlhkosti roz-



Obr. 1. Prof. Nowotny, akademik Brdička a prof. Čůta v roce 1965 jednají u prof. Petrů o skandiu



Obr. 2. Vlevo prof. K. Dostál z MU Brno, druhý zleva Dr. M. Zikmund, redaktor Chem. zvestí Bratislava, třetí zleva Ing. V. Procházk (Chajda) v roce 1972 při návštěvě prof. G.V. Samsonova (vpravo) na katedře anorganické chemie VŠCHT Praha

padaly. Ale z nouze ctnost – na karbidu skandia je jedna zajímavost: jeho hlavním hydrolytickým produktem je vedle vodíku allylen (propin), uhlovodík, který byl zatím zjištěn jen při hydrolyze karbidu hořčíku. Nu a hned máme další argument k několika málo příkladům tzv. diagonální podobnosti prvků v periodické soustavě. Možnost významného průmyslového využití karbidu skandia opět ztroskotala na nepochopení organizátorů našeho plánovaného hospodářství. Existovaly informace, že v USA ve značném množství pro sváření a řezání místo acetylenu používají právě allylen. Předností allylenu je to, že může být bez nebezpečí komprimován do tlakových lahví, takže objemově je ho v jedné jednotce 3x víc než acetylenu, který musí být rozpuštěn v acetonu v tlakové lahvi s náplní porézní hmoty. Allylen má také vyšší výhřevnost. Karbid skandia a po jeho rozkladu vzniklý hydroxid skanditý by mohl být jako vratná surovina neustále recyklován v jedné výrobní jednotce, ale říkejte to tenkrát někomu. Projekt marně podporoval i tehdy vlivný akademik Mostecký<sup>26</sup>.

V sedmdesátých a osmdesátých letech zájem o skandium a jeho sloučeniny velmi pronikavě klesal, měřeno počtem publikací a jejich citací. Jelikož nejsnadněji získatelnou sloučeninou byl oxid skanditý, byly hledány jeho aplikace především v oxidové keramice. Z hlediska fyzikálních vlastností je nejvíce podobný oxidu hlinitému, nicméně významný vliv na změnu či dokonce na vylepšení jakýchkoliv vlastností nebyl zjištěn.

Smutnou bilanci a jen nepatrný zájem o skandium lze vyčíst i z mezinárodních obchodních ročenek, z nichž lze odvodit, že celosvětová roční spotřeba skandia nepřesahuje 100 kg. Přibližně 20 kg  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  ročně je využíváno v USA a 80 kg v ostatním světě k výrobě výkonových výbojek a halogenových lamp. Jodid skanditý silně přispívá k emisi bílého světla s vysokým indexem podání barev (color rendering index), kterým lze nahrazovat sluneční světlo např. ve filmových atelierech. Nepatrné množství radioaktivního izotopu  $^{46}\text{Sc}$  je používáno v ropných rafineriích jako stopovací agens.

Pokus o obrat v názoru na skandium nastal až v devadesátých letech. Po listopadové revoluci a rozpadu Sovět-

ského svazu začalo Obchodní zastupitelství Ruské federace pořádat v Praze něco jako Dny nové techniky, kde na společných česko-ruských seminářích se odborníci vzájemně seznamovali a informovali o možnostech výroby, obchodu a částečně i výzkumu materiálů, které až doposud byly tabu především z vojensko-strategického hlediska. Již v roce 1997 bylo na jednom semináři oznámeno, že Rusko nabízí k prodeji tunová množství speciálních slitin skandia, které jim přebývají v souvislosti s omezením kosmického výzkumu. Ukázalo se, že většina konstrukcí kosmických aparatur je z lehkých slitin na bázi hliníku a hořčíku. Snížení hmotnosti či měrné hmotnosti pod  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$  je dosaženo významným podílem obsahu kovového lithia, které samo o sobě má hustotu  $0,5 \text{ g cm}^{-3}$ . Kovové lithium však výrazně snižuje antikorozi stabilitu konstrukcí, což sice ve vlastním kosmu nevádí, ale než je aparatura do kosmu vynesena, je konstrukční materiál vyráběn a skladován v pozemských podmínkách a udržení antikoroziho prostředí je značně nákladné. Ukázalo se, že přídavek kovového skandia do slitin Al-Mg-Li významně zvyšuje jejich korozi odolnost. Cena těchto slitin však zpočátku nikoho nezaujala, protože všem bylo jasné, že jen a jen v souvislosti se závody v kosmu a při výrobě poslední varianty stíhaček MIG-29 ani astronomické ceny materiálů nehrají roli. Teprve v roce 2005 se v ČR podařilo pro VÚK v Panenských Břežanech získat výzkumný grant s tematikou vlivu skandia na vlastnosti hliníkových slitin. Dílčím výstupem bylo pozitivní zjištění o vlivu precipitované fáze  $\text{Al}_3\text{Sc}$  na vlastnosti extrudovaných slitin<sup>27,28</sup>. Komerční zájem tyto nové slitiny u nás opět nevyvolaly.

Posledním pokusem prosadit skandium do výrobních programů našeho strojírenského průmyslu byl vývoj vysoce efektivních povlaků obráběcích nástrojů. Již v sedmdesátých letech se celosvětově rozšířilo povlakování nástrojů především nitridem titanu TiN s typickou zlatou barvou, mající nejen dekorativní a antikorozi efekt, ale především až dvojnásobnou tvrdost oproti podkladovému materiálu. Povlaky na jeho bázi o tloušťce jen několika mikrometrů se připravovaly metodou CVD (Chemical Vapor Deposition) a dosahovalo se jimi až pětinašobného zvýšení trvanli-

vosti či pracovní životnosti. Ve druhém stupni pak byly připravovány povlaky z tuhých roztoků TiC a TiN a na základě platnosti Vegardova pravidla pak byla část titanu nahrazována dalšími prvky, které jakkoliv příznivě modifikovaly vlastnosti povrchových vrstev. Jelikož metoda CVD vyžadovala vysoké teploty, nejméně 1100 °C, byla postupně nahrazována novějšími metodami povrchových úprav a vytváření funkčních povlaků, včetně povlaků funkčně gradovaných (FGM, Functionally Graded Materials). Metody IP (Ion Plating) nebo MS (Magnetron Sputtering) dnes v podstatě metodu CVD vytlačily, neboť jsou schopny povlakovat i při normálních teplotách. V devadesátých letech pak byl šlágreem povlak typu TiAlN nebo TiAlC<sub>x</sub>N<sub>y</sub> (cit.<sup>29</sup>). Je samozřejmé, že jsme ihned ověřili systém Ti-Al-C-N s přidavkem skandia na tenkých oteřuvzdorných povlácích slinutých karbidů. Bylo prokázáno, že abrazivní odolnost povlaků s obsahem 8 až 13 % Sc se zvyšuje zhruba na dvojnásobek (přesněji 1,8x) hodnot velmi rozšířených povlaků TiAlN. O výsledky, prezentované na světovém kongresu International Powder Metallurgy Congress ve Stockholmu<sup>30</sup> byl zpočátku zájem, zvláště když u nás existoval podnik, který garantoval poloproduční výrobu. Nicméně opět, především z ekonomických důvodů a vývojem nových konkurenčních povlaků, se tyto materiály ve strojírenském průmyslu ve větším měřítku neprosadily.

Závěrem tedy můžeme konstatovat, že zatím co Chemické listy, které kdysi uvedly české skandium do odborného povědomí, mají před sebou dobrou perspektivu, dokumentovanou např. stále se zvyšujícím impakt faktorem, je po 55 letech české skandium, ve své době slibné téma, již jen nostalgickou záležitostí.

*Práce vznikla v rámci Rozvojového projektu C52/2010 MŠM ČR.*

## LITERATURA

1. Dufek V.: *Proceeding of European Conference on Advances in Hard Materials Production, Stockholm*, (ed. EPMA) str. 13, 1996.
2. Petřů F., Hájek B., Procházka V., Vít J.: *Chem. Listy* 50, 1696 (1956).
3. Barta Č., Petřů F., Hájek B.: *Naturwissenschaften* 45, 36 (1956).
4. Speding F., Daane A. H.: *J. Metals* 6, 504 (1954).
5. Borisenko L. F.: *Skandij*. Izd. Moskva, 1961.
6. Samsonov G. V. a spol.: *Redkozemelnyje elementy*. Izd. AN SSSR, 1963.
7. Achard J. C., Caro P., Loriers J.: *Comptes Rendus* 243, 493 (1956).
8. Fischer B.: *Z. Anorg. Allgem. Chem.* 231, 54 (1937).
9. Meisel K.: *Naturwissenschaften* 27, 230 (1939).
10. Spedding F. H., Daane A. H., Hermann K. W.: *Acta Crystallogr.* 9, 559 (1956).
11. Petřů F., Hájek B., Procházka V.: *Chem. Listy* 50, 2025 (1956).
12. Savickij E. M.: *Splavy redkozemelnykh metallov*. Izd. Nauka, Moskva 1962.
13. Petřů F., Procházka V., Hájek B.: *Collect. Czech. Chem. Commun.* 23, 367 (1958).
14. Horowitz C. T.: *Scandium*. Academic Press, London 1975.
15. Kůtek F.: *Zhur. Neorg. Chim.* 9, 2784 (1964).
16. Kůtek F., Dušek B.: *J. Inorg. Nucl. Chem.* 31, 1544 (1969).
17. Brožek V., Karen P., Hájek B.: *J. Less-Common Met.* 107, 295 (1985). [Databáze PDF-4, Reference code: 00-038-1112]
18. Hajek, P., Karen, P., Brozek, V.: *Monatsh. Chem.* 117, 1271 (1986). [Databáze PDF-4, Reference code 00-038-1323]
19. Samsonov G. V., Makarenko G. N., Kosolapova T. J.: *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, T 144, 5, 1062 (1962).
20. Petřů F., Dufek V., Brožek V.: *Chemický Průmysl* 16, 681 (1966).
21. Brožek V., Dufek V.: *Proceedings of Powder Metallurgy World Congress & Exhibition, Paris*, (ed. EPMA) Vol. I, str. 203, 1994.
22. Nowotny H., Auer-Welsbach H.: *Monatsh. Chem.* 92, 789 (1961).
23. Rassaerts H., Nowotny H., Vinek E., Benesovsky F.: *Monatsh. Chem.* 98, 460 (1967).
24. Hájek B., Brožek V., Popl M.: *Collect. Czech. Chem. Commun.* 35, 1832 (1970).
25. Hájek B., Karen P., Brožek V.: *Rev. Inorg. Chem.* 8, 117 (1986).
26. Hájek B., Brožek V., Popl M., Mostecký J.: *Collect. Czech. Chem. Commun.* 36, 3236 (1971).
27. Očenášek V., Smola B., Stulíková I., Pelcová J.: *Mater. Sci. Forum* 539-543, 487 (2007).
28. Kolář M., Očenášek V., Uhlíř J.: *Mater. Sci. Forum* 567-568, 357 (2008).
29. Cremer R., Neuschütz D.: *J. Inorg. Mat.* 3, 1181 (2001).
30. Brožek V., Dufek V., Vyskočil J.: *Proceedings of European Conference on Advances in Hard Materials Production, Stockholm, May 27-29*, (ed. EPMA), str. 403, 1996.