

De mineralen krotiet en dmitryivanoviet: ouder dan de aarde

door A.J. (Tom) van Loon

Geologisch Instituut, Adam Mickiewicz Universiteit, Maków Polnych 16, 61-606 Poznan, Polen.

E-mail: tvanloon@amu.edu.pl; tom.van.loon@wxns.nl

Dankzij nieuwe analysetechnieken worden steeds meer nieuwe mineralen ontdekt. Meestal gaat het om insluitsels van minieme afmetingen in andere kristallen, en is er – behalve wellicht voor mineralogen – weinig reden tot opwinding. Soms echter is er sprake van een nieuw mineraal dat, om wat voor reden dan ook, bredere belangstelling verdient. Dat geldt bijvoorbeeld voor krotiet en dmitryivanoviet, mineralen die recentelijk als ‘nieuw’ werden beschreven, en die ook als zodanig zijn erkend door de Commission on New Minerals, Nomenclature, and Classification van de International Mineralogical Association. En dat terwijl beide mineralen tot de oudste behoren die in ons zonnestelsel zijn gevormd.

Krotiet

Krotiet is niet in een ‘normale’ Aardse steen gevonden, maar in een chondriet (koolstofhoudende steenmeteoriet) die in Noordwest-Afrika terecht is gekomen (NWA 1934). De meteoriet (afb. 1) bevat een aantal insluitsels van ongewone aard; deze



Afb. 1. De meteoriet NWA 1934 waarin het mineraal krotiet werd gevonden (foto Edward Krikorian).

bevatten, naast relatief veel zeldzame-aardmetalen, ook relatief veel calcium en aluminium, en worden daarom wel als ‘CAI’ (Ca/Al Inclusions) aangeduid. Deze CAI’s worden beschouwd als het eerste steenachtige materiaal dat in het zonnestelsel werd gevormd; ze zouden daarom zelfs ouder zijn dan de aarde.

Het ‘gebarsten ei’

Een van de CAI’s in NWA 1934 heeft een min of meer ovale vorm en wordt door de betrokken onderzoekers, mede op basis van het patroon van barsten, aangeduid als het ‘gebarsten ei’ (afb. 2). Het insluitsel, dat ca. 4,5 x 2,75 mm meet, is wat in de Engelse literatuur bekend staat als een ‘refractory inclusion’ (een vuurvast insluitsel). Deze term is gebaseerd op het feit dat dergelijke insluitsels mineralen bevatten die ook bij extreem hoge temperaturen nog stabiel zijn. Dat is een van de redenen waarom aangenomen wordt dat ze uit de zonnenevel – het aller-eerste begin van ons Zonnestelsel – zijn ontstaan door condensatie bij nog steeds heel hoge temperaturen (minimaal 1500°C), maar bij lage druk.



Afb. 2. Het ‘gebarsten ei’ bij opvallend licht.

Het gebarsten ei werd onderzocht met een electron microprobe analyser (afb. 3), een instrument waarmee een straal elektronen op een zeer klein voorwerp wordt afgevuurd. Uit de teruggekaatste röntgenstraling kan de chemische samenstelling worden afgeleid. Dit proces werkt op nano-schaal (een nanometer is een miljardste meter, ofwel een miljoenste millimeter), zodat hiermee het ‘gebarsten ei’ nauwkeurig zowel kwalitatief als kwantitatief kon worden onderzocht. Daarbij bleek er onder meer een mineraal in te zitten met de chemische formule $Ca_{1,02}Al_{1,99}O_4$, wat in praktijk neerkomt op $CaAl_2O_4$ (calcium-aluminiumoxide).

Materiaal met deze chemische formule is bekend van sommige soorten hoge-temperatuur beton. Maar omdat beton een kunst-



Afb. 3. Electron microprobe analyser en bijbehorende apparatuur (foto Hebrew University of Jerusalem).

matig (door de mens) gefabriceerd product is, gelden de daarin voorkomende verbindingen niet als mineraal. Er is echter ook een in de natuur voorkomende verbinding met deze samenstelling bekend – dmitryivanoviet –, maar die wordt onder hoge druk gevormd (zie de paragraaf hieronder). Het insluitsel is dus



Afb. 4. Alexander N. Krot (foto University of Hawaii), naar wie krotiet is genoemd.

een nieuw mineraal. Het is krotiet genoemd, naar Alexander N. Krot, een onderzoeker van de Universiteit van Hawaii, die zich vooral heeft toegelegd op de studie van meteorieten (in het bijzonder CAI's) en op het analyseren van processen die een rol speelden in het begin van ons Zonnestelsel (afb. 4).

Het gebarsten ei bestaat uiteraard niet geheel uit krotiet, maar het merendeel wordt wel

gevormd door aggregaten van krotietkristallen met daartussen andere calcium/aluminiumsilicaten, magnesium/aluminiumsilicaten en een paar andere silicaten in een dunne 'schil' die uit verschillende laagjes bestaat. De barstjes, die voornamelijk met ijzer- en aluminiumhydroxiden zijn opgevuld, doorsnijden deze buitenste schillen, maar lopen plaatselijk verder door naar binnen. Het insluitsel zelf is omgeven door een fijnkorrelige massa (matrix) van voornamelijk olivijn.

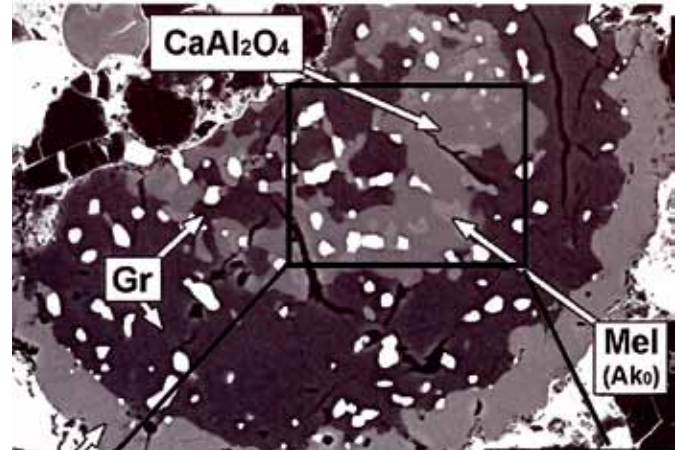
De onderzoekers denken dat het krotiet werd gevormd in een afkoelende wolk van het interstellair gas waaruit ons Zonnestelsel ontstond. Vervolgens kwamen de kristallen in een hete gaswolk terecht, waar ze niet smolten, maar reageerden met het gas, waardoor de schilvormige structuur ontstond. De barsten kunnen zijn gevormd als gevolg van samenpersing gedurende de aangroei van het gevormde hemellichaam waarvan het 'gebarsten ei' deel ging uitmaken, maar er trad geen zodanig grote druk op dat de kristalstructuur veranderde. De opvulling van de barsten is waarschijnlijk een gevolg van de verwerking die op aarde plaatsvond nadat de meteoriet in de Sahara was terechtgekomen.

Dmitryivanoviet

Krotiet is dus een lage-druk variëteit van CaAl_2O_4 . Merkwaardig genoeg is twee jaar geleden de hoge-druk variëteit beschreven. Die is dmitryivanoviet genoemd, naar Dmitry A. Ivanov (1962-1986), een mineraloog en petrograaf die verongelukte tijdens veldwerk in de Kaukasus. Ook dit mineraal werd gevonden in een CAI, ook in een chondriet (maar wel een andere) die in de Sahara (Er Rachida, Marokko) is opgeraapt (NWA 470). Ook al weer net als krotiet is de chemische samenstelling van het geanalyseerde dmitryivanoviet niet precies CaAl_2O_4 , maar $\text{Ca}_{1,000}(\text{Al}_{1,993}\text{Si}_{0,003}\text{Ti}_{0,002})_{1,998}\text{O}_4$. Dergelijke afwijkingen van de ideale formule zijn echter onbetekenend en komen in vrijwel alle mineralen voor, vaak zelfs met aanzienlijk grotere afwijkingen. Het mineraal is in een van de CAI's aanwezig in de vorm van kristallen van ongeveer 0,01 mm groot, die vergroeid zijn

met grossiet (CaAl_4O_7), perovskiet (CaTiO_3) en meliliet – een groep mineralen met als algemene formule $(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe}^{2+})[\text{Al},\text{Si}]_7$. Tot deze groep behoren onder andere gehleniet en åkermaniet (afb. 5).

Zowel dmitryivanoviet als krotiet behoren tot het systeem $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$, waartoe ook de mineralen hiboniet ($\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$) en grossiet (CaAl_4O_7) behoren, beide eveneens uitsluitend bekend uit CAI's. Het fasediagram van dit systeem geeft aan dat een druk van ongeveer 2 GPa (~200 atmosfeer) nodig is voor de vorming van de hoge-druk variëteit van CaAl_2O_4 bij een temperatuur



Afb. 5. CAI uit meteoriet NW 470, voornamelijk bestaande uit grossiet (Gr), vergroeid met perovskiet (Pv) en meliliet (Mel) in de vorm van zuivere gehleniet (Ako) en dmitryivanoviet (CaAl_2O_4).

van 1327°C; boven deze temperatuur condenseert het materiaal. Het is onwaarschijnlijk dat in de zonnenevel ooit zo'n hoge druk heeft geheerst; daarom zou dmitryivanoviet kunnen zijn ontstaan door een drukgolf die kan zijn opgetreden toen het moedermateriaal met de CAI in botsing kwam met een ander hemellichaam. Dat zou trouwens in het allereerste beginstadium van de vorming van ons Zonnestelsel moeten zijn gebeurd. Krotiet en dmitryivanoviet zijn daarom niet alleen gelijk wat betreft hun chemische samenstelling, maar ook beide waarschijnlijk (veel) ouder dan de aarde.

Literatuur

Ma, C., Kampf, A.R., Connolly Jr., H.C., Beckett, J.R., Rossman, G.R., Sweeney Smith, M.A. & Schrader, D.L. (2011). Krotite, CaAl_2O_4 , a new refractory mineral from the NWA 1934 meteorite. *American Mineralogist*, 96: 709-715.
Mikouchi, T., Zolensky, M., Ivanova, M., Tachikawa, O., Katsu, M., Le, L. & Gounelle, M., 2009. Dmitryivanovite: a new high-pressure calcium aluminum oxide from the Northwest Africa 470 CH3 chondrite characterized using electron backscatter diffraction analysis. *American Mineralogist*, 94: 746-750.