

AZ ALUMINIT SZERKEZETI VIZSGÁLATA RÖNTGENDIFFRAKCIÓS ÉS TERMOANALITIKAI MÓDSZERREL

FARKAS LÁSZLÓ — KÜRTHYNÉ KOMLÓSI JUDIT*

Röntgendiffrakciós porfelvételek alapján meghatároztuk az aluminit elemi celláját és megállapítottuk, hogy a különböző lelőhelyekről származó minták nem rendelkeznek olyan egyedi szerkezeti sajátosságokkal, amelyek az elemi cella méreteiben is megnyilvánulnának és azok változékonyságát okoznák. Az indexelt reflexiók egyértelművé teszik az aluminit por-diffrakciós módszerrel történő azonosítását. Termikus vizsgálatok segítségével kimutattuk, hogy az aluminit kilenc molekula vizet tartalmaz és értelmeztük a hőbomlás egyes részfolyamatait is. Eredményeink elősegítik a szulfáttartalmú bauxitok pontos ásványtani kiértékelését és ezzel a timföldgyártás technológiai paramétereinek optimális beállításához nyújtanak segítséget.

Bevezetés

Az aluminit, $\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ az alumínium egyik bázikus szulfátásványa. Magyarországon először GEDEON T. (1955), majd BÁRDOSSY GY. (BÁRDOSSY GY. 1959, BÁRDOSSY GY. — SAJGÓ Cs. 1968) mutatta ki. Legújabban TÓTH Á. és POPITY J. (1979) adott hírt a csordakúti bauxitterületen általuk felismert aluminit tömeges előfordulásáról. KOCH S. (1966) mint a bauxit egyik kísérőásványát írja le és csak bauxittelepen vagy annak közvetlen környezetén belüli előfordulását említi (Gánt, Halimba, Sümeg), jóllehet van bauxit-hoz nem köthető előfordulása is, pl. Rudabányán (lásd DOBOSI K. 1979). BÁRDOSSY GY. (1977) monográfiája mint a karsztbauxitokban előforduló egyik szulfátásványt tartja számon és beszámol dél-uráli és montenegrói bauxitokban található aluminitekről.

Tekintettel arra, hogy a legutóbbi időkben felmerült az olyan bauxitoknak az ipari feldolgozási lehetősége, amelyek kéntartalma nem szulfidban, hanem szulfátban kötött, a hazai bauxitok aluminit- és egyéb alumínium-szulfát-ásványainak részletes vizsgálata különös jelentőségű (BÁRDOSSY GY. 1980).

A hazai bauxitvagyon minél teljesebb felhasználásának és a timföldgyártási technológiai paraméterek optimális beállításának messzemenő ipari-gazdasági következményei vannak. Így a bauxit összes fázisának — tehát az aluminitnek is — részletes mineralógiai, krisztallográfiai elemzését, kémiai, fizikai-kémiai stb. sajátosságainak felderítését egyre sürgetőbb, az ipari gyakor-

* ALUTERV-FKI

lat számára nélkülözhetetlen feladatnak kell tekintenünk. Ugyanakkor a részletes, több szempontú vizsgálatok új telepek felderítésében, bauxitgenetikai problémák tisztázásában is segítségünkre lehetnek. Az alumínit vonatkozó eddigi ásványtani, krisztallográfiai ismereteink messze elmaradnak a ma már jogosan megkívánt és a legtöbb ásvány esetében ki is elégített követelményektől. Nemzetközileg standardnak elfogadott röntgendiffrakciós reflexióinak adatsora (JCPDS PDF No. 8—55) például annyira rossz és pontatlan, hogy nemcsak mennyiségi elemzését, hanem sok esetben még műszeres (röntgendiffrakciós) azonosításának lehetőségét is megkérdőjelezi. Ezek a problémák és a kérdésekkel kapcsolatos válaszadás igénye és lehetősége késztetett bennünket arra, hogy elvégezzük az alumínit részletes röntgen-pordiffракciós vizsgálatát és termikus analízisét. A röntgendiffrakciós felvételek a Stockholmi Egyetemen, a termikus mérések az ALUTERV-FKI-ban készültek.

Röntgendiffrakciós vizsgálatok

Röntgendiffrakciós porfelvételeinket *Guinier-Hügg* típusú kamrával készítettük. A pontosság és a felbontóképesség növelése érdekében egyoldalon emulziós filmet használtunk, $\text{Cu}_{K\alpha}$ volt az alkalmazott monokromatizált röntgensugárzás. A mintához kevert KCl reflexióihoz (belső standard) illesztett parabolikus görbével korrigáltuk a mért vonalhelyeket (S. WESTMANN — A. MAGNÉLI 1957). A reflexiók kimérése automatikus denzitométerrel történt, amely egy IBM 1800 típusú számítógéphez on-line csatlakozott. A mért és tárolt denzitás ill. transzmisszió értékekből egy PILT nevű program (G. MALMROS — P.-E. WERNER 1973) számolta ki a reflexiók pontos helyét és intenzitását megfelelő kritériumok alkalmazása és korrekciók elvégzése után. Pontos rács-sík távolság (d -érték) sorozat kimérésén túlmenően feladatul tűztük ki az alumínit reflexióinak indexelését, azaz az elemi cella meghatározását is.

Kilenc különböző helyről származó minta röntgenfelvételét készítettük el s a szórási kép azonossága alapján megállapítottuk, hogy mindegyik minta — noha a jól mérhető reflexiók számában volt némi különbség — tiszta alumínit. Ezt támasztották alá a *Philips* EM 301G típusú elektronmikroszkóphoz csatlakoztatott energiadiszperzív röntgenanalizátorral (EDAX) kapott mérési eredményeink is, ami szerint a mintákban az Al:S atomarány az alumínit összetételének megfelelő 2:1 volt. Több esetben kevés szennyező Mg-kation jelenlétét tudtuk kimutatni. A standard PDF kártya reflexióit egyeztetni tudtuk az általunk mértekkel, jóllehet az ott közölt harminccal szemben mi (maximális esetben) 110 reflexiót tudtunk kimérni. Egy Nyíreskútról származó alumínitmintának BÁRDOSY GY. és SAJGÓ Cs. (1968) 45 vonalát tudta diffraktométerrel megkülönböztetni s adataik jól egyeznek az általunk mért d -értékekkel. Kiválasztva az egyik gánti mintáról *Guinier-Hügg* kamrával kapott reflexiókat, egy TREOR nevű indexelő program (P.-E. WERNER 1964) 1975-ben módosított változatával sikerült meghatározniuk a reflexiók indexeit és így az alumínit elemi celláját. Az első 25 reflexió mért intenzitását, HKL *Miller*-indexeit, valamint mért és számított 2θ - és d -értékeit az 1. táblázatban adjuk meg. A $2\theta = 90^\circ$ értékig mérhető összes (110) reflexiót és a hozzájuk tartozó indexeket egy másik közleményben tettük közzé (FARKAS L. — P.-E. WERNER 1980).

A különböző helyekről származó alumínitminták összehasonlítása céljából a már meghatározott elemi cella alapján mindegyik esetben legkisebb négyzetes illesztéssel finomítottuk a cella-paramétereket az összes mért reflexiót felhasználva. A 2. táblázatban összefoglalva az így kapott eredményeket, kitűnik, hogy a különböző mintákra kapott cella-paraméter értékek egymástól

1. táblázat

Az alumínit első 25 indexelt reflexiója

Az intenzitás egysége önkényes, a többszörösen indexelhető vonalaknál is csak egy index kombinációt adtunk meg

H K L	$2\theta_{\text{obs}}$	$2\theta_{\text{calc}}$	$d_{\text{obs}}(\text{Å})$	$d_{\text{calc}}(\text{Å})$	Int.
1 1 0	9,803	9,807	9,015	9,011	90
0 2 0	11,149	11,156	7,929	7,929	100
0 1 1	13,643	13,623	6,485	6,495	34
-1 1 1	13,873	13,880	6,378	6,375	29
2 0 0	16,173	16,171	5,476	5,477	39
0 2 1	16,713	16,724	5,300	5,296	30
2 1 0	17,126	17,116	5,173	5,176	8
1 1 1	17,607	17,606	5,033	5,033	63
-2 1 1	18,209	18,204	4,868	4,869	6
1 3 0	18,625	18,631	4,760	4,758	71
2 2 0	19,686	19,687	4,506	4,505	3
-2 2 1	20,643	20,646	4,299	4,298	30
-1 3 1	21,090	21,091	4,209	4,209	43
1 3 1	23,758	23,742	3,742	3,744	70
1 4 0	23,884	23,861	3,722	3,726	72
2 3 1	24,187	24,194	3,677	3,675	12
-1 1 2	24,572	24,576	3,620	3,620	29
0 0 2	24,993	24,990	3,560	3,560	23
-2 0 2	25,572	25,564	3,480	3,481	20
0 4 1	25,713	25,708	3,462	3,462	25
-1 4 1	25,841	25,849	3,445	3,444	28
-2 1 2	26,183	26,184	3,401	3,400	9
-1 2 2	26,462	26,461	3,365	3,365	37
2 4 0	27,762	27,766	3,211	3,210	19
-2 2 2	27,961	27,968	3,188	3,187	24

2. táblázat

Különböző alumínitminták cella-paraméter értékei

Zárójelben a szórást adtuk meg, az utolsó tizedes jegy helyi értékében kifejezve

Leőhely	$a_0(\text{Å})$	$b_0(\text{Å})$	$c_0(\text{Å})$	β°
Gánt – Hosszú- harasztos	1. 11,444 (2)	15,849 (1)	7,440 (1)	106,85 (1)
	2. 11,442 (6)	15,859 (5)	7,446 (2)	106,86 (2)
Rudabánya	11,448 (3)	15,851 (6)	7,439 (2)	106,91 (2)
Halle	11,451 (2)	15,847 (2)	7,445 (1)	106,87 (1)
Sussex	1. 11,435 (8)	15,858 (6)	7,438 (5)	106,84 (3)
	2. 11,449 (3)	15,852 (3)	7,444 (2)	106,88 (1)
	3. 11,450 (1)	15,854 (2)	7,441 (2)	106,91 (1)
Gánt	11,453 (4)	15,855 (4)	7,447 (2)	106,86 (2)
Csordakút	11,447 (4)	15,848 (3)	7,439 (2)	106,87 (2)

való eltérése a háromszoros szórási hibahatáron belül van. Ebből arra a következtetésre juthatunk, hogy a vizsgált aluminitminták nem mutatnak olyan jellegzetes, lelőhelytől függő individuális sajátosságokat, amelyek kristályszerkezeti különbségekre utalnak. Ezeket a mintákat tehát — legalábbis ami az alapvető szerkezeti paramétereket, a monoklin cella élhosszait és szögét illeti — azonosaknak kell tekintenünk. A kis mértékű Mg-Al-helyettesítés nem okoz vonaleltolódást, következésképpen nincs kimutatható változás az elemi cella paramétereiben sem. A Mg-beépülés mértéke és mikéntje, valamint egyéb, a szerkezetben az atomi koordinátákat befolyásoló finom különbségek pontos meghatározására minden bizonnyal csak a legmodernebb porfrakciós mérési és számítási technika, a profilillesztéses szerkezetfinomító módszer (H. M. RIETVELD 1969) lenne alkalmas. Ennek alkalmazása feltételezi az ideális kristályszerkezetnek az ismeretét. Minthogy az aluminit a természetben egykristály alakban csak igen ritkán és kivételesen fordul elő, nagy jelentőségű minden olyan eredmény, amely a polikristályos anyag vizsgálata révén segíti elő a kristályszerkezet finom sajátosságainak a kimutatását. Az indexelés és az elemi cella meghatározása kiindulópontja a további ilyen célú vizsgálatoknak.

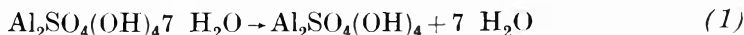
Termikus vizsgálatok

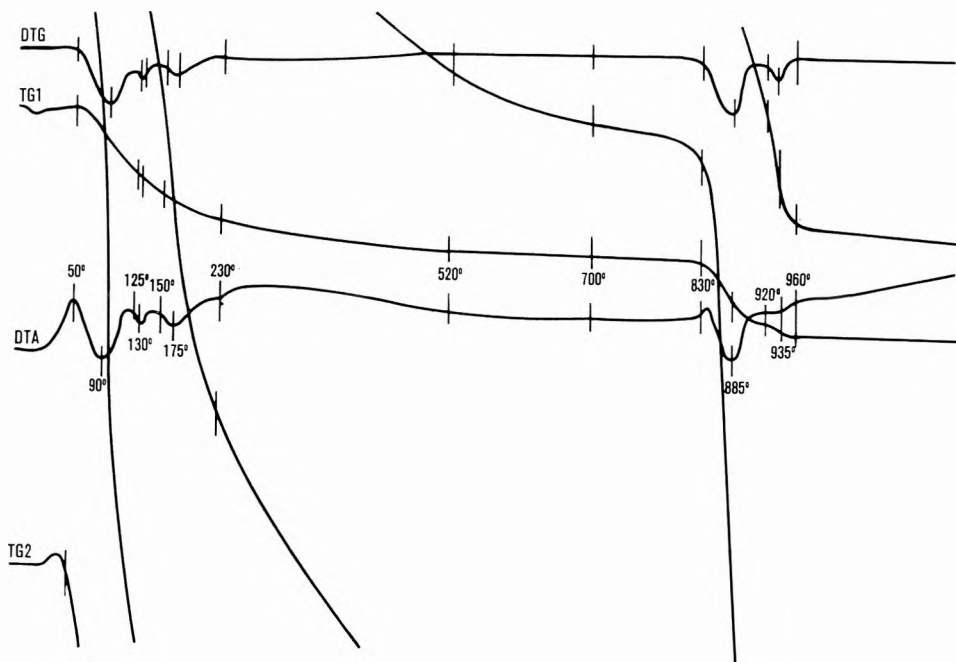
Termikus vizsgálataink alapján részben az aluminit víztartalmára vonatkozóan az irodalomban fennálló bizonytalanságot akartuk megszüntetni (pl. H. STRUNZ 1970, KOCH S. — SZTRÓKAY K. I. 1967, GEDEON T. 1955, FARKAS L. — P.-E. WERNER 1980), részben pedig azt vártuk, hogy a vízvesztés és szulfáthomlás lépéscőinek és folyamatának a megismerése szerkezeti következtetésekre is ad lehetőséget.

Az aluminit termikus bomlását *Mettler* gyártmányú regisztráló vákuum-termoanalizátorral vizsgáltuk 20–1160 °C hőmérsékleti tartományban, szárított levegőáramban a következő kísérleti körülmények között:

bemért anyagmennyiség: 50 mg légnedves anyag
 tégely anyag: alumíniumoxid
 áramlási sebesség: 5 l/h
 felfűtési sebesség: 4°/min
 referencia anyag: α - Al_2O_3
 DTA érzékenységi tartomány: 100/ μ V
 TG: 100/10 mg
 DTG: 10 mg/min

A termoanalitikai görbéken (1. ábra) 6 többé-kevésbé jól elkülönülő folyamat különböztethető meg. (A TG2 az ún. nyújtott súlyskála, amely tízszer érzékenyebb a TG1 alap súlyskálánál.) Az elkülöníthető hőmérséklettartományokat — amelyekhez egy-egy folyamat rendelhető —, az ezekhez tartozó súlyvesztéséget, valamint a feltételezett sztöchiometrikus összetételből [$\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$] adódó számítás eredményét a 3. táblázatban tüntettük fel. Az első három lépésben endoterm folyamatokban összesen 7 H_2O távozik. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy az ismételt mérésekből kapott átlagos súlyvesztéség valamivel kevesebbnek adódott annál, mint ami pontosan 7 H_2O -nak felelt volna meg. A 230 °C alatti kristályvízlépcsők felfűtési sebesség-függést mutattak.





1. ábra. Gánti alumínit termoanalitikai görbéi
 Fig. 1. Thermoanalytical curves of aluminite from Gánt

3. táblázat

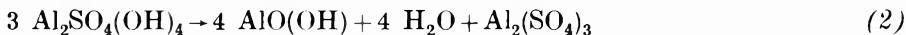
Az alumínit termikus bomlási folyamata

Lépés	T °C	DTA	TG súlyvesztés			Formula
			mg	% mért	% számított	
1.	50 – 125	end.	10,0	20,0	20,92	4H ₂ O
2.	125 – 150	end.	2,7	5,4	5,23	1H ₂ O
3.	150 – 230	end.	5,4	10,8	10,46	2H ₂ O
4.	230 – 830	?	5,6	11,2	10,46	2H ₂ O
	50 – 830	—	23,7	47,4	47,07	9H ₂ O
5.	830 – 920	end.	9,2	18,4	18,62	1SO ₂
6.	920 – 1160	end.	2,3	4,6	4,65	(0,5)O ₂
	50 – 1160		35,2	70,4	70,34	

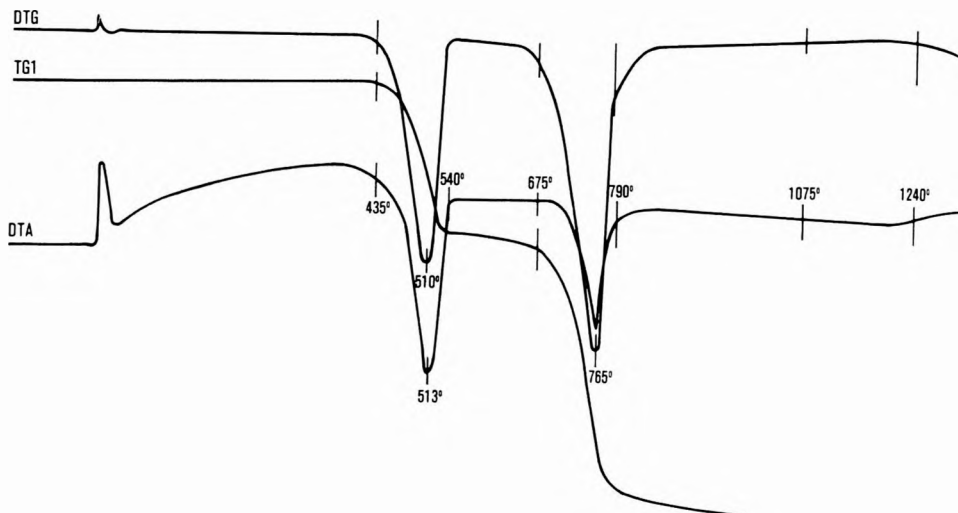
A hosszan elhúzódó 4. tartományt a következő konszekutív és/vagy szimultán folyamatok eredőjeként értelmezzük:

- a bázikus alumíniumszulfát-didhidrát rács összeomlása
- dehidráció (szerkezeti vízvesztés)
- új fázisok megjelenése.

Feltételezésünk szerint a következő reakciók játszódnak le:



Az ötödik folyamat kezdete előtt éles exoterm DTA-csúcs figyelhető meg (845 °C), amely kristályos fázisátalakulással magyarázható. A 830 °C feletti kettős DTA-csúcsot a szulfátfázis(ok) bomlása idézi elő. Az ötödik és hatodik



2. ábra. Iszkaszentgyörgyi alunit $[(\text{K},\text{Na})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6]$ termoanalitikai görbéi
Fig. 2. Thermoanalytical curves of alunite from Iszkaszentgyörgy

folyamat együttes súlyvesztése (830–1160 °C) igen jól egyezik a minta összes SO_3 -tartalmával. Az izzítási maradék röntgendiffrakciós vizsgálata tiszta $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$ (korund) fázis kialakulását igazolta.

A szulfátbomlás két jól elkülöníthető lépcsőjét a következő gondolatmenet alapján magyarázzuk:

- 1 — A két folyamatban eltávozó gáz halmazállapotú termék okozta súlycsökkenés aránya 4:1, megegyezik az $\text{SO}_2:(0,5)\text{O}_2$ sztöchiometrikus arányával.
- 2 — A tiszta $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ fázis termikus bomlása mindig egy lépésben zajlik le, amit az alunit termogramok (2. ábra) egyértelműen igazolnak (lásd a 2. ábrán a 765 °C-os endoterm DTA-csúcsot!).

Az előbbieken felírt (2), (3) és (4) reakcióegyenlet végterméke feltételezésünk szerint kristályos dialumínium-monoszulfát, amely a következő reakcióegyenlet szerint két lépcsőben bomlik:



Ennek igazolására 830 °C-on illetve 920 °C-on „befagyasztott” fázisok röntgendiffrakciós vizsgálatára volna szükség.

Összefoglalás

Az aluminit elemi cellájának meghatározásán és a porreflexiók indexelésén túlmenően eredményeinkből még további következtetések vonhatók le. Így a reflexiók szisztematikus kioldódásából kiadódik az aluminit $P2_1/c$ szimbólumú monoklin tércsoportja. A különböző lelőhelyről származó minták röntgendiffrakciós képe és elemi cellája a mérési hibahatáron belül azonos volt, ami az aluminit szerkezeti állandóságára utal. Termikus vizsgálatainkkal sikerült egyértelműen kimutatnunk, hogy az aluminit szerkezetben összesen 9 molekula víz van, amiből 7 molekula a kristályvíz. A termikus bomlási folyamat minden lépcsőjét magyarázni tudtuk. Eredményeink kiindulópontot jelentenek a polikristályos aluminit finom kristályszerkezeti sajátosságainak a kimutatásához.

IRODALOM

- BÁRDOSY Gy. 1959: The geochemistry of Hungarian bauxites. Parts III.—IV. — Acta Geol. 6. pp. 1—53.
- BÁRDOSY Gy. 1977: Karsztbauxitok. — Akad. Kiadó, Budapest.
- BÁRDOSY Gy. 1980: Személyes közlés (Personal communication).
- BÁRDOSY Gy.—SAJGÓ Cs. 1968: Aluminit in den Bauxitlagerstätten von Szóc, Ungarn. — Acta Geol. 12. pp. 3—10.
- DOBOSI K. 1978: Magyarországi alumínium-szulfát ásványok mineralógiai-kristálykémi vizsgálat. — Szakdolgozat, ELTE TTK Ásványtani Tanszék.
- FARKAS L.—WERNER P.-E. 1980: Powder diffraction studies on aluminite and meta-aluminite. — Z. Kristallogr. 151. pp. 141—152.
- GEDEON T. 1955: Aluminite (Websterite) of Gánt, Hungary. — Acta Geol. 3. pp. 27—43.
- KOCH S. 1966: Magyarország ásványai. — Akad. Kiadó, Budapest.
- KOCH S.—SZTRÓKAY K. I. 1967: Ásványtan II. — Tankönyvkiadó, 2. kiad. Budapest.
- MALMROS G.—WERNER P.-E. 1973: Automatic densitometer measurements of powder diffraction photographs. — Acta Chem. Scand. 27. pp. 493—502.
- RIETVELD H. M. 1969: A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. — J. Appl. Cryst. 2. pp. 65—71.
- STRUNZ H. 1970: Mineralogische Tabellen. — Akad. Verlag, 5. Aufl. Leipzig.
- TÓTH Á.—POPITY J. 1979: Telérszerű aluminitképletek a csordakúti bauxitban. — Előadás a Földt. Társ. előadójelentésén, 1979. III. 20. Veszprém.
- WERNER P.-E. 1964: Trial-and-error computer method for the indexing of unknown powder patterns. — Z. Kristallogr. 120. pp. 357—387.
- WESTMAN S.—MAGNÉLI A. 1957: Determination of accurate interplanar spacings and lattice parameters from Guinier powder photographs. — Acta Chem. Scand. 11. pp. 1587—1593.

STRUCTURAL INVESTIGATIONS ON ALUMINITE BY X-RAY AND THERMOANALYTICAL METHODS

by

L. FARKAS—J. KÜRTHY-KOMLÓSI*

Introduction

Aluminite, $\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, occurs in the nature very often on the inside or in the nearest neighbourhood of bauxite deposits. In recent years much bauxite has been found in Hungary in which the amount of the aluminite or other sulphate components is far above the usual value (GY. BÁRDOSY 1980). The increased aluminite content has a great influence on alumina production, because the technological parameters have to be changed in accordance with the chemical and phase composition of bauxite. To find the optimum values of the technological parameters is therefore of industrial and economical importance. Mineralogical and crystallographical analysis of bauxite phases including aluminite and other chemical, physico-chemical, etc. investigations seem to be an inevitable task from industrial and economical point of view. The available X-ray powder data for aluminite are of very low quality. Consequently, the quantitative phase analysis or even the X-ray identification of aluminite has proved to be questionable. Our purpose was to correct the data in order to be able to index the powder reflexions of aluminite and determine the unit cell parameters.

X-ray investigations

Powder diffraction photographs of nine aluminite samples were taken in a focussing camera of *Guinier-Hügg* type with strictly monochromatized $\text{Cu}_{K\alpha_1}$ radiation and with KCl added as an internal standard. Single coated films were used in order to diminish the background and increase the resolution. The photographs were measured by a drum film scanner system described by G. MALMROS and P.-E. WERNER (1973).

The powder pattern from aluminite was indexed successfully (L. FARKAS and P.-E. WERNER 1980) by a revised version of a trial and error program, TREOR (P.-E. WERNER 1964). In Table 1 the first 25 reflexions of one of our aluminite samples (Gánt-Hosszúharasztos) as well as the HKL *Miller* indices, the measured and calculated 2θ and *d*-values and the integrated intensities are shown.

A least square refinement of the cell parameters of aluminite samples of different origin could not reveal any structural discrepancy among the samples investigated. The values of cell parameters agree very well within the limits of three standard deviations (Table 2). In order to establish very slight structural variations or individual characters of aluminite samples a more sophisticated method (M. RIETVELD 1968) could be appropriate. This method, however, needs the knowledge of an approximate model for aluminite structure.

* Research, Engineering and Prime Contracting Centre Hungarian Aluminium Corporation, Budapest.

Thermoanalytical investigations

The decomposition of aluminite was investigated by a *Mettler* Thermoanalyzer between 20 and 1160 °C in a dried flowing air atmosphere. The resulting thermoanalytical curves (Fig. 1) show 6 more or less well-separable processes. (The TG2 curve represents the "expanded weight", which is ten-times more sensitive than the "general weight", TG1.) The characteristic temperature intervals, the measured and calculated weight losses and their interpretation are shown in Table 3.

In the first three steps 7 H₂O evolves altogether in agreement with the expected equation (1).

The more extended fourth interval could be explained by the following consecutive and/or simultaneous processes:

- collapse of the basic aluminium sulphate-dihydrate lattice,
- dehydration and formation of new structures, e.g. according to equations (2), (3) and (4).

At the beginning of the fifth process an exothermic peak (845 °C) represents a kind of crystalline phase transformation. Above 830 °C the fifth and sixth TG steps (DTG peaks) indicate the decomposition of sulphate(s). The resulting total weight loss percentage (830–1160 °C) is in good agreement with the calculated SO₃ content. The ignition residue proved to be pure α-Al₂O₃ by X-ray examination. With a view to the very good agreement between the measured and calculated weight losses corresponding to 1 SO₂ and (0.5) O₂ for the last two peaks and the experiences with the thermal decomposition of pure Al₂(SO₄)₃ taking place always in a single step (see Fig. 2), the presence of Al₂O₂SO₄ (eq. 4) was presumed. It may be supposed that dialuminium-monosulphate decomposes according to equations (5) and (6).

Conclusions

Powder reflexions of aluminite were successfully indexed using a trial and error indexing program, TREOR. It has been proved that the aluminite has a monoclinic unit cell. Deviations of cell parameters of samples of different origin do not exceed the limits of three standard deviations which means that natural aluminites do not show important structural variations, individual characteristics. Systematic extinctions in the reflexion set allow to conclude that the space group for aluminite is P2₁/c. It has become clear from thermoanalytical investigations that the total water content of aluminite is 9 H₂O, the number of crystalline water is 7. Our results seem to be important contributions to the structural investigation of the polycrystalline aluminite.

Table 1. The 25 first reflexions of aluminite. (Multiple indexing is not given, the unit of intensity is arbitrary.)

Table 2. Cell parameters of aluminite samples of different origin as refined by the method of least squares. Standard deviations are given in brackets in last decimal units

Table 3. Characteristic temperature intervals, measured and calculated weight losses and interpretation of the thermal decomposition of aluminite

