

Alumīnija silikāti un to veidošanās iežos un tehnoloģiskos izstrādājumos

Uldis Sedmalis, *Riga Technical University*, Gaida Sedmale, *Riga Technical University*,
Ingunda Sperberga, *Riga Technical University*,

Kopsavilkums: Zināmi četri alumīnija silikātu minerāli – kianīts, andaluzīts, silimanīts, kuru kopējā formula ir $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ un mullīts, kura formula ir $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. No tiem visbiežāk un tikai metamorfos iežos sastopami pirmie trīs nosauktie minerāli, kas izveidojušies augsta spiediena un temperatūras apstākļos. Mullīts kā minerāls iežos ir reti sastopams, jo mullīta molekulārais tilpums ir trīs reizes lielāks par kianīta grupas minerālu molekulāro tilpumu. Kianīta grupas minerālus pie normāla spiediena, neatkarīgi no temperatūras, tehnoloģiski iegūt nav iespējams. Savukārt, mullītu tehnoloģiski var iegūt augstās temperatūrās un tikai pie normāla spiediena, t.i. apstākļos, kad nepastāv molekulāro tilpumu ierobežojoši faktori. Rakstā dots arī mineralizatora klātienē nozīmes skaidrojums mullīta veidošanās procesā.

Atslēgas vārdi: kianīta grupas minerāli, mullīts, kristāliskās struktūras, molekulārais tilpums

I. IEVADS

Alumīnijs silikātos visbiežāk kā trīsvērtīgs jons Al^{3+} sastopams divos veidos: sešu skābekļa jonu vai četru skābekļa jonu koordinācijā.

Pirmajā gadījumā alumīnija jons ir tipisks katjons, kas piesaista negatīvās silīcija – skābekļa tetraedra grupas jeb anjonus, piemēram, $[\text{SiO}_4]^{4-}$, tādējādi veidojot alumīnija silikātus. Otrajā gadījumā trīsvērtīgais alumīnija jons izomorfi aizvieto četrvērtīgo silīcija jonu anjonu daļā, piemēram, saskaņā ar šādu shēmu $[\text{Si}_4\text{O}_8]^{0-} \rightarrow [\text{AlSi}_3\text{O}_8]^{1-}$, veidojot alumosilikātus. Alumīnija silikāti kā minerāli iežos skaita un masas ziņā ir maz izplatīti, to skaits nepārsniedz 4. Iežos alumīnija silikāti pārstāvēti kianīta, andaluzīta un silimanīta veidā. Minētajiem trim minerāliem ir viena kopīga formula, kas oksīdu veidā ir $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, bet to kristālķīmiskās formulas, kas bez ķīmiskā sastāva dod ieskatu arī par jonu savstarpējo telpisko izvietojumu kristālu struktūrā, ir atšķirīgas. Kianīta kristālķīmiskā formula ir $\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$, andaluzīta – $\text{AlAlO}[\text{SiO}_4]$ un silimanīta – $\text{Al}[\text{AlSiO}_5]$. No kristālķīmiskā viedokļa šīs modifikācijas atšķiras ar alumīnija jonu koordināciju. Silimanīta gadījumā

kristālķīmiskā formulā viens alumīnija jons ir tetraedriskajā koordinācijā (atbilst skaitlim 4), andaluzītam – 5, bet kianītā visi alumīnija joni ir oktaedriskajā koordinācijā (skaitlis 6). Visi minētie minerāli ir tipiski metamorfi veidojumi. Retos gadījumos nelielos daudzumos kā iežu minerāls sastopams arī cits alumīnija silikāts – mullīts $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Turpretim, alumosilikāti dabā ir plaši izplatīti, galvenokārt, nātrija ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – albīts), kālija ($\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – ortoklazs) un kalcija ($\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ – anortīts) laukšpatu un to savstarpējo cieto šķīdumu veidā. Laukšpati veido aptuveni 50 % no visas zemes garozas minerālu masas [1-3].

Savukārt, mākslīgos apstākļos pie normāla atmosfēras spiediena, kā liecina sistēmas $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ līdzsvara stāvokļa diagramma, veidojas tikai mullīts [4].

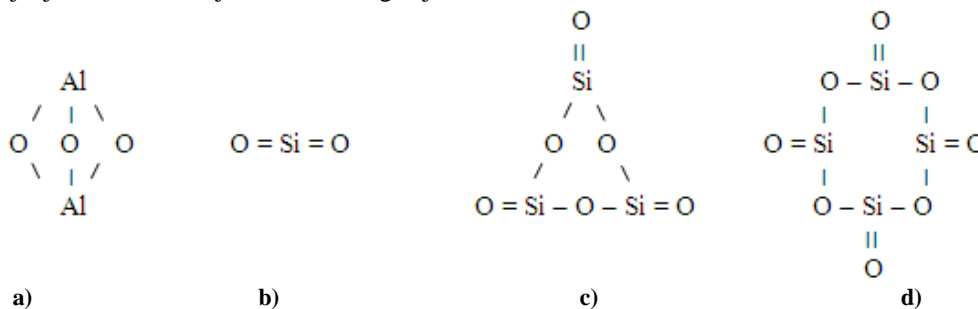
Sakarā ar iepriekš minēto rodas vairāki jautājumi:

- Kāpēc alumīnija silikātu modifikācijas (kianīts, andaluzīts un silimanīts) ir izveidojušās galvenokārt metamorfos iežos?
- Kāpēc minētie minerāli (kianīts, andaluzīts un silimanīts) pie normāla atmosfēras spiediena nav iegūstami sintētiskā ceļā, bet no jebkurām Al_2O_3 un SiO_2 saturošām izejvielām (piem., kianīta grupas minerāliem, kaolīna u. c. māliem, korunda, kvarca u.c.) izdodas iegūt tikai mullītu?

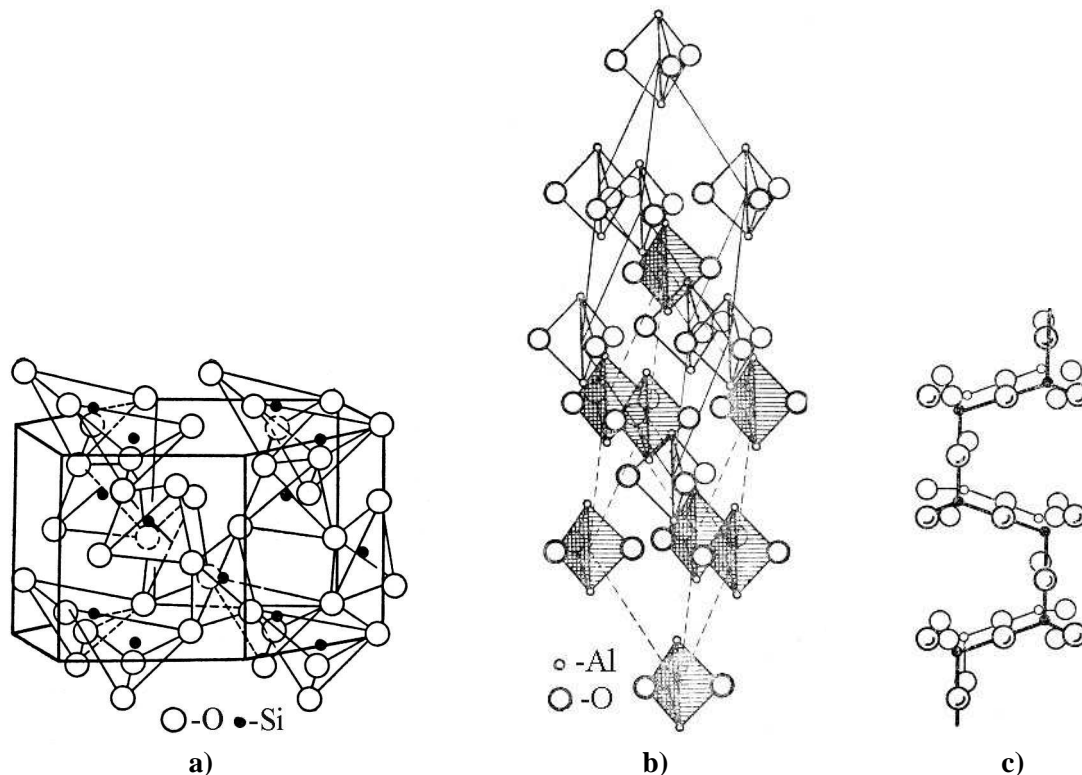
Lai atbildētu uz šiem jautājumiem, tiek dots ieskats par Al_2O_3 un SiO_2 , t.i. alumīnija silikātu komponentu struktūras formulu veidojošām sastāvdaļām salīdzinājumā ar pašu alumīnija silikātu struktūrām, kas sastādītas izejot no klasiskiem priekšstatiem par elementu valencēm attiecīgos savienojumos.

II. ALUMĪNIJA OKSĪDA, SILĪCIJA DIOKSĪDA UN ALUMĪNIJA SILIKĀTU STRUKTŪRAS FORMULAS

Korundam atbilstošā Al_2O_3 un kvarcam atbilstošā SiO_2 modifikāciju augstās kušanas temperatūras (2050°C un 1713°C , attiecīgi), kā arī to ķīmiskā izturība pret atmosfēras aģentu un daudzu citu ķīmisku vielu iedarbību izskaidrojama ar stipro jonu – kovalento saiti, kāda pastāv starp to struktūru veidojošām daļiņām, t.i. starp alumīniju, silīciju un skābekli.

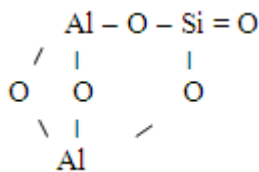


1.att. Al_2O_3 (a), SiO_2 (b), Si_3O_6 (c) un Si_4O_8 (d) struktūras



2.att. Kvarca (a), korunda (b) un ortoklaza (c) rentgenogrāfiski noteiktie struktūras motīvi

Var pieņemt, ka alumīnija oksīda un silīcija dioksīda stabilos kristāliskos režģus veido jau pašas par sevi stabilas, zināmā mērā individualizētas, struktūras vienības: Al_2O_3 , SiO_2 , Si_2O_4 (2SiO_2), Si_3O_6 (3SiO_2), Si_4O_8 (4SiO_2) u.c. 1.attēlā parādītas individualizētas Al_2O_3 , SiO_2 , Si_3O_6 un Si_4O_8 struktūras.



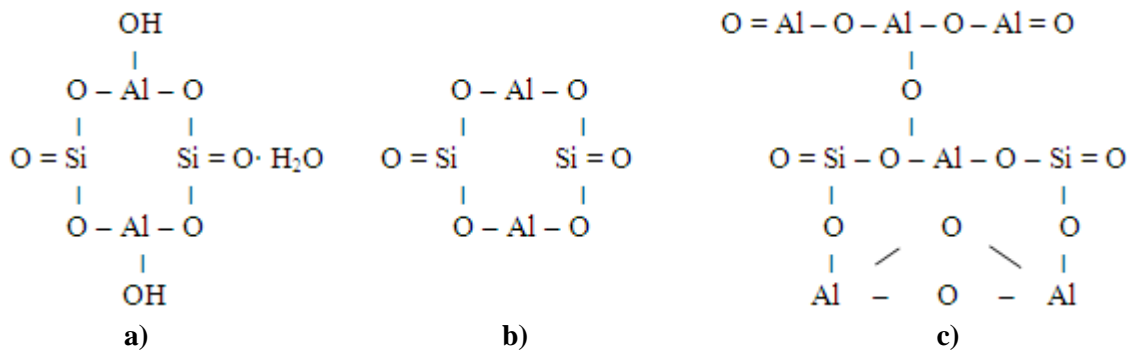
3.att. Kianīta grupas minerālu struktūras motīvs

Priekšstatu par šādu individualizētu struktūras vienību pastāvēšanu apstiprina kvarca, korunda un kristālisko silikātu rentgenogrāfiskie struktūras pētījumi. 2.attēlā parādīti kvarca,

korunda un ortoklaza rentgenogrāfiski noteiktie struktūras motīvi [5-7].

3.attēlā parādīts kianīta grupas minerālu, t.i. kianīta, andaluzīta un silimanīta struktūras motīvs, kas izveidots pamatojoties uz šos savienojumus veidojošo elementu valencēm.

Kā redzams no 4.attēla, mullīta struktūras formula satur uzbūves motīvus (grupas), kas ir analogiskas kaolinīta kodola, korunda, kvarca un kianīta grupas minerālu struktūras motīviem. Ar to arī izskaidrojama relatīvi viegla mullīta veidošanās un ieguve no kaolinīta un citiem mālu minerāliem, kianīta grupas minerāliem, kā arī korunda un kvarca. Var uzskatīt, ka mullītam ir attāla "radniecība" uzbūves skatījumā ar kaolinīta un citu mālu minerālu kodoliem, korundu, kvarcu un Na-K laukšpatiem. Bet vistuvākā, jeb "pirmās pakāpes radniecība" mullītam ir ar kianīta grupas minerāliem.



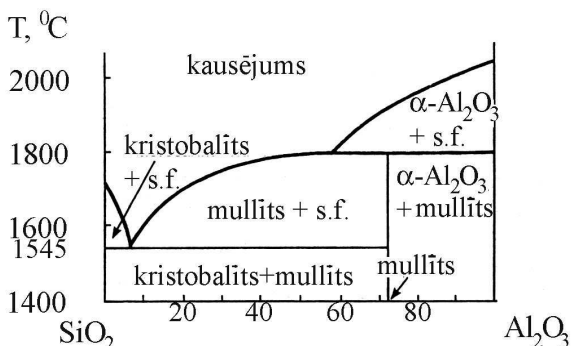
4.att. Kaolinīta (a), kaolinīta kodola (b) un mullīta (c) struktūras motīvi

III. KIANĪTA GRUPAS MINERĀLU VEIDOŠANĀS

Kianīta, andaluzīta, silimanīta un, jo īpaši, alumīnija silikāta – mullīta – relatīvi retā sastopamība iežos dabā izskaidrojama ar alumīnija un silīcija blakus atrašanos elementu periodiskajā sistēmā. Tas nozīmē, ka minētie elementi pēc ķīmiskām īpašībām ir līdzīgi, un pie normāla spiediena un temperatūras ar skābekļa starpniecību savā starpā veido ļoti maz savienojumus. Kā jau minēts iepriekš, alumīnija oksīds (korunds) un silīcija dioksīds (kvarcs) kā individualizēti savienojumi ir augstas temperatūras un relatīvi ķīmiski izturīgi pret apkārtējās vides iedarbību.

Kianīta grupas minerāli, neatkarīgi no temperatūras, pie normāla spiediena sintētiskā ceļā nav iegūstami, ko parāda $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ sistēmas stāvokļa diagramma (sk. 5.att.) [4].

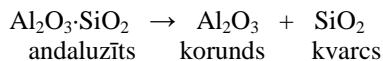
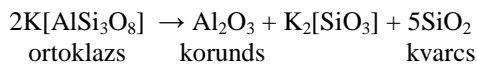
Eksperimentālie pētījumu rezultāti apstiprina, ka kianīta grupas minerāli veidojas tikai pie paaugstināta spiediena un temperatūras. Tāpēc Zemes garozā šie minerāli sastopami metamorfajos iežos, kas izveidojušies no noguluma vai primāriem magmatiskajiem iežiem vienlaicīga spiediena un temperatūras iedarbības rezultātā. Metamorfo iežu petrogrāfisko un mineraloģisko pētījumu rezultāti liecina, ka šie minerāli izveidojušies, galvenokārt, no kārtainiem un karkasa tipa silikātiem, t.i. no mālu minerāliem un laukšpatiem gāzveida (H_2O , CO_2) un cieta (kvarca, korunda, hematīta u.c.) mineralizatoru klātienē. Kā tipisks kārtainais minerāls minams kaolinīts, bet karkasa tipa silikāts – ortoklazs. No kristālķīmijas zināms, ka kristālos saglabājas struktūras motīvi, kas ir līdzīgi to vielu struktūras motīviem, kurus kristāls izmanto savai izaugsmei [8].



5.att. $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ līdzsvara stāvokļa diagramma (pēc N.Bouena un Dž. Greiga), kur s.f. – šķidrā fāze.

Līdz ar to, izejvielu un jaunizveidojošos kristālisko vielu struktūras motīvu līdzība atvieglo attiecīgo kristālu augšanas procesu. Metamorfos iežos kianīta grupas minerāli ir asociācijā jeb paraģenēzē ar kvarcu SiO_2 , korundu Al_2O_3 , vizlām, piemēram, biotītu $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH}, \text{F})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ un flogopītu $\text{KMg}_3(\text{OH}, \text{F})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$, turmalīnu $\text{Na}(\text{Li}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{OH}, \text{F})_4[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$, kordierītu $(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Al}_3[\text{AlSi}_5\text{O}_{18}]$, topāzu $\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2[\text{SiO}_4]$, berilu $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$, laukšpatiem, piemēram, ortoklazu $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ u.c.

Par kianīta grupas minerālu paraģenēzi ar laukšpatiem, korundu un kvarcu liecina šādas minerālu veidošanās reakcijas metamorfos iežos:



IV. MULLĪTA VEIDOŠANĀS

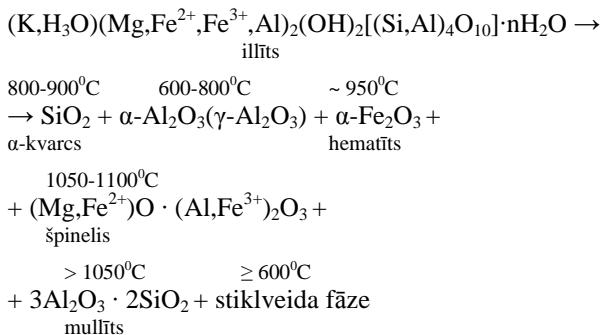
Mullīts, kas arī ir alumīnija silikāts, asociācijā ar kianīta grupas minerāliem metamorfos iežos sastopams ļoti reti, kā arī ir reti sastopams magmatiskajos iežos. Mullīta ķīmiskais sastāvs mainās robežās no $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ līdz $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$. Pēc sastāva un struktūras tas visvairāk ir līdzīgs silimanītam. Sintētiski mullītu iegūst no kaolīna, kianīta grupas minerāliem u.c. izejvielām, no kurām iespējams iegūt savienojumu, kas atbilst mullītam ar sastāvu $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Mullītu no attiecīgām izejvielām var iegūt sākot ar $1000 - 1100^\circ\text{C}$ un pie normāla atmosfēras spiediena. Mullīts ir augsttemperatūras kristālisks savienojums, kura kušanas temperatūra ir 1850°C (sk. 5.att.). Tam piemīt augsta mehāniskā izturība un ķīmiska noturība pret skābju un sārmu iedarbību. Mullīta sastāvam atbilstošos ugunturīgos materiālos izmanto stikla kausēšanas vannu krāšņu oderēšanai. Radīta augstvērtīga mullīta un mullīta-korunda elektroizolācijas keramika. Mullīts ir arī nozīmīgs smalkkeramikas – porcelāna, kā arī plaši izmantojama ugunturīga materiāla – šamota sastāvdaļa. Mullīts izveidojas arī fajansa tipa keramisko materiālu ieguves procesā, kā arī keramiskajos materiālos, kas iegūti uz illīta tipa mālu bāzes. Mullīta retā sastopamība metamorfos un magmatiskos iežos un tā paraģenēze ar kianīta grupas minerāliem izskaidrojama ar tā paaugstināto molekulāro tilpumu (sk.1.tab.) [1,3,9,10]. No tabulas redzams, ka mullīta molekulārais tilpums ir aptuveni trīs reizes lielāks par kianīta grupas minerālu molekulāro tilpumu. Tāpēc mullīts iegūstams augstākās temperatūrās un tikai pie normāla spiediena, t.i. apstākļos, kuros nepastāv molekulāro tilpumu ierobežojošais faktors. Bez tam mākslīgās mullītu veidojošās sistēmās vienlaicīgi ar Al_2O_3 un SiO_2 kā galveniem komponentiem pastāv mullīta veidošanās veicinoši komponenti – mineralizatori. Šajā gadījumā kā mineralizatori darbojas H_2O un CO_2 gāzveida stāvoklī, kā arī Na^+ un K^+ joni. Šie mineralizējošie komponenti veicina alumīnija un silīcija oksīdu struktūras motīvu difūziju jeb pārnesi uz izveidojušos mullīta kristāliskās fāzes iedīgļa. Šo mineralizatoru iedarbība ir sekojoša: nātrija un kālija joni (Na^+ , K^+) iedarbojas uz grūti kūstošiem un inertiem alumīnija un silīcija oksīdiem, attiecīgi atraujot no tiem dipiramidālās alumīnija oksīda molekulas un izolētās vai gredzenveida silīcija-skābekļa jonizētās grupas vai neitrālas molekulas no attiecīgām izejvielām (korunda, kvarca, vai alumīnija oksīda un silīcija dioksīda hidratizētiem amorfi – kristāliskiem veidojumiem, kā, piemēram, no hidrargilīta $\text{Al}(\text{OH})_3$ vai silikagēla $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

1. TABULA

ALUMĪNIJA SILIKĀTU UN TOS VEIDOJOŠO KOMONENTU MOLEKULĀRIE TILPUMI UN KUŠANAS TEMPERATŪRAS

N.p.k.	Nosaukums	Minerāla formula	Īpatnējā masa, g/cm ³	Molekulas masa, g	Molekulārais tilpums, cm ³	Kušanas temperatūra, °C	Veidošanās apstākļi
1.	Korunds	Al ₂ O ₃	4,00	101,93	25,49	2050	Magmatiski-metamorfi
2.	Kvarcs	SiO ₂	2,62	60,06	22,92	1713	Magmatiski-metamorfi
3.	Kianīts	Al ₂ O ₃ ·SiO ₂	3,60	161,96	44,99	1300	Metamorfi
4.	Andaluzīts	Al ₂ O ₃ ·SiO ₂	3,15	161,96	51,42	1300	Metamorfi
5.	Silimanīts	Al ₂ O ₃ ·SiO ₂	3,23	161,96	50,14	1816	Metamorfi
6.	Mullīts	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	3,03	425,91	140,56	1850	Magmatiski-metamorfi

Nātrija un kālija jonu iedarbība uz alumīnija oksīda un silīcija dioksīda struktūras motīviem jeb struktūrām notiek tāpēc, ka šie komponenti savstarpēji ir ķīmiski aktīvi un pēc būtības notiek iedarbība starp sārmu, t.i. K⁺ un Na⁺ un skābēm, piemēram, H₃AlO₃ vai H₄SiO₄. Minēto var izskaidrot ar eksperimentāli pierādītu illīta māla aktivizējošu ietekmi uz izejvielu maisījumu, kas sagatavots ar nolūku iegūt mullīta kristālisko fāzi. Illīts ir minerāls, kas bez diviem galvenajiem komponentiem četrvērtīgā silīcija jona (SiO₂) un trīsvērtīgā alumīnija jona (Al₂O₃) satur arī tādus papildus jonus kā K⁺, (H₃O)⁺, Mg²⁺, (OH)⁻ u.c., kā arī H₂O. Šie papildus joni un H₂O kalpo kā mullīta veidošanas veicinoši mineralizatori attiecīgā izejvielu sistēmā pie temperatūras sākot no 800 °C un augstākām. Rentgenfāzu analīzes rezultāti liecina, ka ar illītu termiskās apstrādes procesā notiek sekojošas izmaiņas [2]:



Illīta termiskās apstrādes procesā pozitīvie joni un, pirmkārt, K⁺ pēc mineralizējošās, t.i. Al³⁺ un Si⁴⁺ jonu pārneses, darbības izbeigšanās (t.i. kristāliskā mullīta izveidošanās) veido stiklveidojošo kausējumu un atbilstošiem joniem raksturīgās tādas kristāliskās fāzes kā kvarcu, korundu, špineli un hematītu.

Par nātrija un kālija jonu pozitīvo ietekmi uz mullīta veidošanas liecina arī to klātbūtne porcelānā, kas tiek iegūts 1350 °C temperatūrā. Kā zināms, porcelāna izejvielu maisījumā galvenās sastāvdaļas ir kaolīns (50 %), kvarcs (25 %) un kālija laukšpats (mikrokliņš vai ortoklazs) (25 %). Līdzīgs stāvoklis ir ar vienu no visizplatītākajiem ugunsizturīgiem materiāliem – šamotu. Šamota ugunsizturību noteicošā fāze ir mullīts. Tas veidojas no mālu minerāliem, kas satur arī iepriekš minētos mineralizatorus.

V. SECINĀJUMI

- Kā minerāli dabā pazīstami tikai četri alumīnija silikāti (kianīts, andaluzīts un silimanīts), kuriem ir viena formula Al₂O₃·SiO₂ un mullīts 3Al₂O₃·2SiO₂, kura struktūra atbilst salīņu tipa silikātiem. Alumīnijs un silīcijs kā periodiskās sistēmas trešā perioda blakus atrodošies elementi pie normāla spiediena un temperatūras ar skābekļa līdzdalību neveido savā starpā ķīmiskus savienojumus. Kianīts, andaluzīts un silimanīts ir izveidojušies paaugstinātā spiedienā un temperatūrā un sastopami metamorfos iežos. Mullīts dabā sastopams reti, jo tā molekulārais tilpums ir aptuveni 3 reizes lielāks par kianīta grupas minerālu molekulāro tilpumu.
- Visu kianīta grupas minerālu struktūru veidojošie motīvi ir līdzīgi kaolīnīta un citu mālu minerālu kodolu, kā arī korunda, kvarca un laukšpātu struktūras motīviem. Savukārt, mullīta struktūru veidojošie motīvi ir līdzīgi kianīta grupas minerālu struktūras motīviem.
- Kianīta grupas minerāli ir izveidojušies metamorfos procesos galvenokārt no mālu minerāliem vai laukšpatiem un visbiežāk ir asociācijā ar korundu, kvarca un vēl citiem pēc struktūras motīviem līdzīgiem minerāliem.
- Mullīts iegūstams tehnoloģiski augstās temperatūrās un tikai pie normāla spiediena, t.i. apstākļos, kad nepastāv molekulāro tilpumu ierobežojošais faktors. Mullīta veidošanas veicina mineralizatoru klātbūtne attiecīgā izejvielu maisījumā. Kā mineralizatori darbojas H₂O gāzveida stāvoklī, kā arī Na⁺ un K⁺ joni.

LITERATŪRA

- Nesse W.D. Introduction to Mineralogy. – Oxford University Press, 2000. – 442 p.
- Sedmalis U., Šperberga I., Sedmale G. Latvijas minerālās izejvielas un to izmantošana. Ar ievadu mineraloģijā un petrogrāfijā. – Rīga, RTU, 2002. – 198 lpp.
- Wenk H.-R., Bulakh A. Minerals. – Cambridge University Press, 2004. – 646 p.
- Бобкова Н.М. Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов. – Минск, Вышэйшая школа, 2007. – 303 с.
- Bragg U.L., Claringbull G.F. Crystal structures of minerals. – London, G.Bell & Sons Ltd., 1965. – 379 p.
- Hyde B.G., Andersson S. Inorganic crystal structures. – USA, John Wiley&Sons, 1989. – 430 p.
- Kostov I., Kostov R. Crystal habits of minerals. – Bulgarian Academic Monographs, 1999. – 415 p.

8. Fundamentals of Crystallography / C.Giacovazzo, H.L.Monaco, G.Artioli, D.Viterbo, G.Ferraris, G.Gilli, G.Zanotti, M.Catti. – Oxford University Press, 2002. – 825 p.
9. Берри Л., Мейсон Б., Дитрих Р. Минералогия. – Москва, Мир, 1987. – 592 с.
10. Хёрлбат К., Клейн К. Минералогия по системе Дена. – Москва, Недра, 1982. – 728 с.

Uldis Sedmalis, Dr.hab.chem., Professor
Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Silicate Materials
Address: Azenes iela 14/24, LV 1048 Riga, Latvia
Phone: + 371 67089266, Fax: + 371 67615765
E-mail: sperberga@ktf.rtu.lv

Gaida Sedmale, Dr.hab.chem., Assoc.professor
Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Silicate Materials
Address: Azenes iela 14/24, LV 1048 Riga, Latvia
Phone: + 371 67089257, Fax: + 371 67615765
E-mail: gsedmale@ktf.rtu.lv

Ingunda Sperberga, Dr.sc.ing., Lead.researcher
Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Silicate Materials
Address: Azenes iela 14/24, LV 1048 Riga, Latvia
Phone: + 371 67089266, Fax: + 371 67615765
E-mail: sperberga@ktf.rtu.lv

Uldis Sedmalis, Gaida Sedmale, Ingunda Sperberga. Aluminium silicates and their formation in the rocks and technological products.

Four aluminosilicate minerals – kyanite, andalusite, sillimanite with common formula $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ and mullite, that have the composition $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ are known. Naturally occurring most often and just in metamorphic rocks are the first three mentioned minerals developing under the high pressure and temperature circumstances. Mullite is rarely occurring as the mineral in nature because of mullite molecular volume that is three times bigger than molecular volume of kyanite group minerals. Structure forming motifs of the all kyanite group minerals are similar to kaolinite and other clay-mineral nucleus, as well as corundum, quartz and feldspar structural motifs. Besides mullite structure forming motifs are similar to the mineral kyanite group ones. It is shown that kyanite group minerals have formed in metamorphic processes, mainly from clay minerals and feldspar and most often are in association with corundum, quartz and other minerals with similar structural motifs. It is impossible to obtain kyanite group minerals technologically at normal pressure in spite of temperature. Besides mullite can be obtained technologically at high temperatures and just at normal pressure, t.i. under conditions when do not exist limiting factors of molecular volume. Explanation of the importance of mineralizer presence in the mullite forming process is given in this article as well.

Улдис Седмалис, Гайда Седмале, Ингунда Шперберга. Силикаты алюминия и их образование в горных породах и технологических изделиях.

Среди многочисленных минералов класса силикатов известны только четыре минерала силикатов алюминия – кианит, андалузит, силлиманит с общей формулой $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ и муллит, формула которого является $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Первые три минерала являются типичными минералами метаморфного происхождения, они образуются в горных породах при высокой температуре и высоком давлении. Муллит в горных породах встречается редко из-за молекулярного объема, который у муллита три раза больше чем у минералов семейства кианита. Формирующие мотивы структуры всех минералов группы кианита подобны ядру каолинита и другим глинистым минералам, а также структурным мотивам корунда, кварца и полевого шпата. В отличие от этого, структурообразующие мотивы муллита похожи на мотивы структур минералов группы кианита. Минералы группы кианита сформировались в метаморфических процессах, в основном из глинистых минералов или полевого шпата, и чаще всего в ассоциации с корундом, кварцем и другими минералами с похожими структурными мотивами. Минералы семейства кианита синтетическим путем получают при высоком давлении и высокой температуре. Муллит в свою очередь получается синтетическим путем при нормальном давлении и высокой температуре, т.е. в условиях без воздействия фактора молекулярного объема. В статье рассматривается также роль минерализатора при синтезе муллита.